



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**TEMA: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN CON
TECNOLOGÍA LORA PARA EL MONITOREO DE UBICACIÓN
VEHICULAR CON UN APLICATIVO WEB”**

AUTOR: CHIRIBOGA TORRES, ÁNGEL TRAJANO

DIRECTOR: MONTOYA LARA, LUIS HERNÁN

SANGOLQUÍ

2020



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN CON TECNOLOGÍA LORA PARA EL MONITOREO DE UBICACIÓN VEHICULAR CON UN APLICATIVO WEB**”, fue realizado por el señor **CHIRIBOGA TORRES ÁNGEL TRAJANO** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 14 de enero del 2020

Ing. LUIS HERNÁN MONTOYA LARA

DIRECTOR



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **CHIRIBOGA TORRES ÁNGEL TRAJANO**, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN CON TECNOLOGÍA LORA PARA EL MONITOREO DE UBICACIÓN VEHICULAR CON UN APLICATIVO WEB”**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz

Sangolquí, 14 de enero del 2020

Ángel Trajano Chiriboga Torres

CC: 171905890-9



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

AUTORIZACIÓN

Yo, **CHIRIBOGA TORRES ÁNGEL TRAJANO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA SOLUCIÓN CON TECNOLOGÍA LORA PARA EL MONITOREO DE UBICACIÓN VEHICULAR CON UN APLICATIVO WEB”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 14 de enero del 2020

Ángel Trajano Chiriboga Torres

CC: 171905890-9

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi esposa, Ana Belén Rodríguez Larco, y a nuestro hijo que está creciendo dentro de su vientre, por ser un pilar importante y por demostrarme su amor incondicional. A mis padres, Ángel Trajano Chiriboga Torres y Norma Herini Torres Jiménez, por haberme formado como una persona de bien y con valores, por su cariño y por estar en cada paso importante de mi vida. A mi hermano, Andrés Gregorio Chiriboga Torres, que siempre ha estado junto a mí y brindándome su apoyo.

Ángel

AGRADECIMIENTO

El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mi familia por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Luis Montoya quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación. Al Director de la carrera Ing. Darwin Aguilar por el apoyo y sobre todo amistad brindada.

Ángel

ÍNDICE DE CONTENIDOS

<u>CERTIFICACIÓN</u>	<u>I</u>
<u>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</u>	<u>II</u>
<u>AUTORIZACIÓN</u>	<u>III</u>
<u>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</u>	<u>VI</u>
<u>ÍNDICE DE TABLAS.....</u>	<u>IX</u>
<u>ÍNDICE DE FIGURAS.....</u>	<u>X</u>
<u>RESUMEN.....</u>	<u>XII</u>
<u>CAPITULO I.....</u>	<u>1</u>
<u>DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....</u>	<u>1</u>
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.1.1 Formulación del problema	3
1.2.1.2 Sistematización del problema.....	3
1.3 ALCANCE	3
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.7 ESTADO DEL ARTE.....	5
1.7.1 CRITERIOS DE BÚSQUEDA	6
1.7.2 LISTADO DE TRABAJOS.....	6
1.7.3 DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS	8
1.7.3.1 TEMA 1	8
1.7.3.2 TEMA 2	9
1.7.3.3 TEMA 3	12

1.7.3.4 TEMA 4	13
1.7.3.5 TEMA 5	15

CAPITULO II..... 18

MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA..... 18

2.1 INTRODUCCIÓN.....	18
2.2 ASPECTOS GENERALES	19
2.2.1 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS	19
2.2.2 EVOLUCIÓN.....	20
2.3 INTERNET DE LAS COSAS (IOT)	21
2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA IOT	23
2.3.2 SERVIDORES DE IOT.....	24
2.3.2.1 TTN (THE THINGS NETWORK)	24
2.3.2.2 CHIRP STACK	25
2.3.3 TECNOLOGÍAS DE IOT	25
2.3.3.1 LR-WPAN (IEEE 802.15.4)	25
2.3.3.2 Bluetooth LE (Low Energy) (IEEE 802.15.1)	26
2.3.3.3 WiFi HaLow (IEEE 802.11 ah).....	27
2.3.3.4 LPWAN (IEEE 802.15.4w).....	27
2.4 LORA.....	28
2.4.1 ARQUITECTURA.....	28
2.4.2 CAPAS DE LORA-WAN.....	31
2.4.2.1 Capa Física	31
2.4.2.1.1 Modulación.....	31
2.4.2.1.2 Formato del mensaje	34
2.4.2.2 Capa MAC.....	35
2.4.2.2.1 Formato del mensaje	35
2.4.3 CLASES DE DISPOSITIVOS LORA.....	36
2.4.4 SEGURIDAD LORA.....	37
2.4.5 ACTIVACIÓN DE DISPOSITIVOS LORA	38
2.4.5.1 Activación en el Aire	38
2.5 APLICACIONES.....	39

CAPITULO III..... 40

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN..... 40

3.1 ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN DE TRACKING VEHICULAR.....	40
3.1.1 DIAGRAMA DE BLOQUES	40
3.2 ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN.....	40
3.2.1 DISPOSITIVOS LORA (UTILIZADOS).....	40
3.2.2 UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS.....	46
3.3 CONFIGURACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	47
3.3.1 CONFIGURACIÓN DEL RECEPTOR.....	47
3.1.1.1 Configuración del LoRA GW	47
3.1.1.2 Configuración del Server LORA TTN	50
3.3.2 CONFIGURACIÓN DEL TRANSMISOR.....	51
3.3.2.1 Conexión del hardware.....	51
3.3.2.2 Configuración del dispositivo	52
3.4 ARQUITECTURA FINAL DE LA SOLUCIÓN	56
<u>CAPITULO IV</u>	58
<u>PRUEBAS Y RESULTADOS</u>	58
4.1 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS.....	58
4.2 PRUEBAS DE CAMPO.....	59
4.2.1 FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ.....	60
4.2.2 MAPA DEL RECORRIDO	62
4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
4.3.1 RELACIÓN DISTANCIA VS RSSI.....	65
4.3.2 RELACIÓN DISTANCIA VS SF.....	67
<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</u>	68
CONCLUSIONES	68
RECOMENDACIONES.....	69
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	71
<u>GLOSARIO DE TÉRMINOS.....</u>	73

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 LISTADO DE TRABAJOS RELACIONADOS	6
TABLA 1.2 ANÁLISIS DEL PRIMER TEMA	8
TABLA 1.3 ANÁLISIS DEL SEGUNDO TEMA	10
TABLA 1.4 ANÁLISIS DEL TERCER TEMA.....	12
TABLA 1.5 ANÁLISIS DEL CUARTO TEMA	14
TABLA 1.6 ANÁLISIS DEL QUINTO TEMA	15
TABLA 4.1 TABLA DE PARÁMETROS DE INICIO	63
TABLA 4.2 TABLA DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	64

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 ESQUEMA DE RED INALÁMBRICA [21]	19
FIGURA 2.2 REDES INALÁMBRICAS [4]	21
FIGURA 2.3 REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS [4].....	22
FIGURA 2.4 ARQUITECTURA LORA-WAN (A) [9].....	29
FIGURA 2.4 ARQUITECTURA LORA-WAN (B) [12].....	30
FIGURA 2.5 CAPAS LORA-WAN [4].....	30
FIGURA 2.7 EXTRACTO DEL ESPECTRO DE UN CHIRP [13].....	33
FIGURA 2.8 MENSAJE CAPA FÍSICA LORA [12]	34
FIGURA 2.9 MENSAJE CAPA MAC LORA [12].....	35
FIGURA 2.10 CLASES DE DISPOSITIVOS LORA [4]	37
FIGURA 3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA SOLUCIÓN.....	40
FIGURA 3.2 KIT DRAGINO [19].....	41
FIGURA 3.3 ESTRUCTURA GW LORA [20].....	42
FIGURA 3.4 LG01-N [19].....	43
FIGURA 3.5 LORA / GPS SHIELD [19].....	44
FIGURA 3.6 DIAGRAMA DE SOLUCIÓN [19]	46
FIGURA 3.7 CONFIGURACIÓN DE INTERNET EN GATEWAY (A)	48
FIGURA 3.7 CONFIGURACIÓN DE INTERNET EN GATEWAY (B)	48
FIGURA 3.9 PARÁMETROS DE RADIO	49
FIGURA 3.10 CONFIGURACIÓN DE SERVIDOR TTN EN EL LG01-N	49
FIGURA 3.11 ID DEL GATEWAY.....	50
FIGURA 3.12 AUTENTICACIÓN TTN.....	50
FIGURA 3.13 CREACIÓN DEL GATEWAY (A).....	51
FIGURA 3.13 CREACIÓN DEL GATEWAY (B).....	51
FIGURA 3.14 CONEXIÓN DEL HARDWARE GPS	52
FIGURA 3.15 AGREGAR DISPOSITIVO EN TTN (A)	52
FIGURA 3.16 AGREGAR DISPOSITIVO EN TTN (B)	53
FIGURA 3.17 AGREGAR DISPOSITIVO EN TTN (C).....	53
FIGURA 3.18 VISUALIZACIÓN EN CAYENNE	53
FIGURA 3.19 CREACIÓN DE LA APLICACIÓN (A)	54
FIGURA 3.19 CREACIÓN DE LA APLICACIÓN (B)	54
FIGURA 3.19 CREACIÓN DE LA APLICACIÓN (C).....	54
FIGURA 3.20 PARÁMETROS DEL DISPOSITIVO.....	55
FIGURA 3.21 PARÁMETROS ARDUINO (A)	55
FIGURA 3.22 PARÁMETROS ARDUINO (B)	56

FIGURA 3.23 PROYECTO DE TRACKING VEHICULAR [19].....	57
FIGURA 4.1 UBICACIÓN DEL GATEWAY EN MAPA	58
FIGURA 4.2 INFORMACIÓN DE UBICACIÓN DEL GATEWAY	58
FIGURA 4.3 INTERFAZ WEB CAYENNE (A).....	60
FIGURA 4.3 INTERFAZ WEB SERVIDOR TTN (B).....	61
FIGURA 4.4 MAPA DEL RECORRIDO	62
FIGURA 4.5 DISTANCIA VS RSSI.....	66
FIGURA 4.6 DISTANCIA VS SNR	67

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el implementar una red de monitoreo vehicular IoT basada en el protocolo LORA, de tal manera que se pueda evidenciar la alta capacidad de transferencia de datos a nivel de esta red, con bajo consumo de potencia y una cobertura amplia.

En el capítulo 1, se establecen todas las características del proyecto que se va a realizar analizando inclusive el problema que se puede resolver con una implementación satisfactoria de esta solución. Adicionalmente, se realiza una investigación de los trabajos desarrollados similares a este de tal manera que sirva como un avance adecuado a esa investigación.

En el capítulo 2, se dan a conocer los principales conceptos relacionados al proyecto a desarrollar, partiendo desde lo más básico como son las comunicaciones inalámbricas tradicionales, la evolución que estas han tenido, hasta finalmente profundizar el estudio de IoT basado en LORA.

En el capítulo 3, se detallan las configuraciones y el equipamiento a utilizar durante las pruebas para de esta manera establecer la arquitectura básica de LORA que está constituido por el dispositivo transmisor, el receptor con el Gateway y el servidor para almacenamiento de la información.

Finalmente, en el último capítulo, se dan a conocer los resultados de las pruebas y las conclusiones y recomendaciones.

Palabras claves:

- **LORA**

- **LPWAN**
- **MONITOREO VEHICULAR**

CAPITULO I

DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES

La evolución de la tecnología se ha ido desarrollando de una manera muy acelerada, debido a que las necesidades de las personas cada vez son más exigentes cuando se refiere al tema de telecomunicaciones. Es así, que poco a poco todos los dispositivos que forman parte del día a día de una persona utilizan el aire como principal medio de transmisión, lo cual ha minimizado el uso de equipos con cables pasando a la utilización de equipos inalámbricos.

Estas tecnologías han permitido que se desarrollen no solo las telecomunicaciones, sino la interacción entre la humanidad y los dispositivos electrónicos llegando incluso a la automatización completa de todo lo que a finales del siglo XX podría parecer imposible como es la medicina.

Dentro de esta evolución surgió la necesidad de que las comunicaciones sean más robustas y que exista poca intervención humana, y es así como surgió el Internet de las Cosas, el cual busca ampliar la cobertura de las telecomunicaciones a objetos o sensores de uso diario que normalmente no son computadores, pero que pueden generar información importante que puede ser intercambiada y consumida [1]

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a que las redes de comunicación inalámbrica han incluido dispositivos autónomos (dispositivos que pueden operar de forma independiente) dentro de su arquitectura global, es importante considerar la necesidad que existe en ofrecer alternativas en las soluciones que brinden facilidades a los usuarios finales explotando todas las capacidades de la tecnología.

Existen soluciones de monitoreo vehicular que utilizan las redes inalámbricas tradicionales, que en muchas ocasiones pueden limitar el seguimiento real debido a inconvenientes como falta de cobertura, por tanto, este proyecto se enfoca en realizar un desarrollo teórico-práctico de una solución para el análisis del desempeño de la tecnología LoRa (*Long – Range*) en el monitoreo vehicular, buscando bajo un consumo de energía y largas distancias entre el dispositivo transmisor y el receptor, establecido en base a esta información las variables que intervienen en un movimiento vehicular.

El desarrollo de esta solución está orientado a la obtención de información de geo-referencia de los vehículos en base a sensores (nodos) los cuales enviarán la información y a su vez esta será reflejada a través de una interfaz

1.2.1.1 Formulación del problema

¿Cuáles serán los principales beneficios de la utilización de la tecnología LoRa como solución a necesidades de IoT (*Internet of Things*) para funcionalidades de monitoreo vehicular?

1.2.1.2 Sistematización del problema

¿Qué conceptos se deben considerar para plantear una alternativa adecuada para realizar monitoreo vehicular en base a LoRa?

¿Cuál es la arquitectura y requerimientos principales dentro de esta solución?

¿Los resultados esperados garantizan la confiabilidad y disponibilidad de esta nueva forma de acceso a la información?

1.3 ALCANCE

La brecha que existe entre la evolución tecnológica y las necesidades de la humanidad, deben ser atendidas en base a soluciones alternas de transferencia de información garantizando confiabilidad y seguridad de los datos transmitidos.

1.4 OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar una solución con tecnología LoRa para el monitoreo de ubicación vehicular con un aplicativo Web.

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el marco teórico de referencia que sirva de soporte o fundamento para el análisis de la solución LoRa para monitoreo vehicular.
- Analizar las condiciones de propagación del escenario donde se desplegará la red LoRa.
- Diseñar e implementar una arquitectura que incluya los sensores emisores, receptores en base a la tecnología LoRa, de tal manera que se definan las topologías y desarrollos necesarios para la transferencia de información.
- Validar el funcionamiento del sistema de monitoreo vehicular a través de un protocolo de pruebas

1.6 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El avance en las aplicaciones del Internet de las cosas (IoT), abre las puertas a nuevas tecnologías de comunicaciones inalámbricas, los cuales permite mejorar día a día el comportamiento y desempeño de una red de datos.

Una de las principales necesidades que se ha ido desarrollando con el tiempo es el monitoreo vehicular[2], en el cual se espera conocer en tiempo real la ubicación del vehículo y adicionalmente, un tiempo estimado de arribo, para lo cual utilizar un prototipo de solución IoT con tecnología LoRa, no solamente

cumplirá con las expectativas de las personas al momento de realizar un monitoreo vehicular, sino que brindará ventajas como bajo consumo energético, largo alcance, independencia de las redes inalámbricas tradicionales entre las principales, creando así alternativas más económicas a los sistemas de rastreo actuales.

Además, con esta propuesta se pretende empezar un estudio de las diferentes aplicaciones, rendimiento y retos que LoRa ofrece. En el país, el estudio e implementación de redes LoRa es algo nuevo y en muy pocas universidades están trabajando en este tema.

1.7 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se da a conocer un análisis de los trabajos realizados en los cuales se ha considerado a la tecnología LoRa como parte de una solución de IoT considerando como aplicación el monitoreo vehicular.

A pesar de que LoRa ha tenido mucho campo de aplicación en centros de datos inteligentes, agricultura, análisis ambiental. Sin embargo, el mercado ofrece soluciones similares como parte de su portafolio de soluciones haciendo del monitoreo vehicular un campo con muchas proyecciones de crecimiento

1.7.1 CRITERIOS DE BÚSQUEDA

Los criterios de búsqueda que se utilizaron son palabras claves relacionadas a la investigación a realizar y posterior a ello se realizó la discriminación de trabajos que en realidad aportan al alcance del presente estudio. Los criterios utilizados son:

- Tracking Vehicular
- Monitoreo Vehicular
- IoT
- LoRa
- LPWAN (*Low-Rate Wireless Personal Area Network*)

1.7.2 LISTADO DE TRABAJOS

Tabla 1.1

Listado de trabajos relacionados

Trabajo	Fecha	Lugar	Autor (es)	Título
Paper	Nov- 2017	India	Jerrin James Sreekumar Nair	Monitoreo eficiente y en tiempo real de transporte público, utilizando LoRa-WAN y transmisores receptores de RF

→
continua

Paper	2018	China	Pengxin Guan Lingwei Wei Zhipeng Zhang Yuping Zhao	Sistema de posicionamiento de buses en tiempo real basados en LoRa
Tesis	Feb/2019	Ecuador	Jean Buestan	Desarrollo de una red IOT con tecnología LORA para Detección de automóviles
Paper	Jun/2019	Indonesia	Norhafizah Ramli Muhammad Zabidi Anuar Ahmad Ivin Amri Musliman	Sistema de monitoreo vehicular basado en LoRa y Software Libre
Paper	Nov- 2019	España	Sandra Sendra Pablo Romero José Garcia Jaime Lloret	Sistema basado en LoRa para monitoreo corredores en Carreras a través del país

1.7.3 DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

1.7.3.1 TEMA 1

Monitoreo eficiente y en tiempo real de transporte público, utilizando LoRaWAN y transmisores receptores de RF

Tabla 1.2

Análisis del primer tema

Alcance	Diseñar una solución que permita implementar un monitoreo a buses en base a tecnología LoRa, de tal manera que los datos puedan ser visualizados a través de una WEB de tal manera que se puedan conocer cuando el bus este cerca de las paradas.
Descripción de la solución	<p>La solución consta de dos partes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño del equipamiento, el cual está basado en diferentes componentes: <ul style="list-style-type: none"> ○ Modulo LoRa (CSS) de cobertura entre 5 a 20km dependiendo de las condiciones geográficas y ambientales ○ Transmisor/Receptor RF (NRF24L01) con una cobertura de 30 metros aproximadamente

→
continua

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Controlador (PIC18F microcontroller), para la interfaz entre el CSS LORA y el RF ○ Módulo WiFi (ESP8266), utilizado para que se transmitan los datos a la estación base <ul style="list-style-type: none"> • Diseño de la base de datos
<p>Pruebas y resultados</p>	<p>Las pruebas realizadas consistieron en ubicar los dispositivos finales alrededor de 4km de la estación base</p> <p>Finalmente, el principal resultado consistió en un análisis comparativo entre un sistema de geo localización basado en GPS tradicional y una en LoRa comparando los precios de implementación de cada uno de ellos.</p>

1.7.3.2 TEMA 2

Sistema de posicionamiento de buses en tiempo real basados en LoRa.

Tabla 1.3

Análisis del segundo tema

Alcance	Diseñar una solución que permita implementar un monitoreo a buses en base a tecnología LORA, de tal manera que los datos puedan ser visualizados a través de una WEB de tal manera que se puedan conocer cuando el bus este cerca de las paradas.
Descripción de la solución	<p>La solución consta de las siguientes partes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño del dispositivo final, el cual está basado en diferentes componentes: <ul style="list-style-type: none"> ○ Procesador STM32, es el elemento encargado de garantizar los bajos consumos de energía. ○ Módulo WiFi, utilizado para que se transmitan los datos a la estación base ○ Modulo LORA, para enviar la información • Diseño del concentrador, el cual está basado en diferentes componentes:

→
continua

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Procesador STM32, es el elemento encargado de garantizar los bajos consumos de energía. ○ GPS, que será el encargado de obtener la información de georeferenciación con una precisión de 0.1 metros ○ Modulo LORA, para enviar la información • Diseño de la base de datos <p>La información que será transmitida consiste en el ID del Bus, hora, latitud y longitud con un periodo de tiempo de 20 segundos</p>
<p>Pruebas y resultados</p>	<p>Las pruebas realizadas consistieron en ubicar los dispositivos finales alrededor de 2 km de la estación base</p> <p>Finalmente, el principal resultado consistió en un análisis de la perdida de paquetes en la transferencia de información y los retardos evidenciados en los cuales se presentaron</p>

→
continua

resultados positivos para garantizar la confiabilidad de la solución.

1.7.3.3 TEMA 3

Desarrollo de una red IOT con tecnología LoRa para detección de automóviles

Tabla 1.4

Análisis del tercer tema

Alcance	Desarrollar una red con LoRa para el tracking vehicular. Define el nivel físico y el control de acceso al medio en redes inalámbricas
Descripción de la solución	<p>La solución consta de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diseño del medidor vehicular, el cual está constituido por: <ul style="list-style-type: none"> ○ Sensor de temperatura NTC ○ Sensor de velocidad VSS ○ Sensor de gasolina Reostato • Diseño del equipamiento, el cual está basado en diferentes componentes:

→
continua

	<ul style="list-style-type: none"> ○ Modulo LoRa de banda 868MHz ○ Dragino LoRa/GPS Shield para los dispositivos finales ○ Dragino LoRa Bee V1.0 ○ GPRS SIM 900 ● Diseño de la WEB
<p>Pruebas y resultados</p>	<p>Las pruebas realizadas consistieron en tomar medidas de temperatura, velocidad y gasolina del vehículo.</p> <p>Primeramente, se utilizó el programa ThingSpeak. Y posteriormente se presentaron los datos en una web que obtiene los siguientes campos: Latitud, Longitud, Velocidad, Temperatura, Nivel de Agua y Nivel de gasolina.</p> <p>Finalmente, el principal resultado consistió en demostrar la operación de una solución que forma parte del concepto de ciudades inteligentes.</p>

1.7.3.4 TEMA 4

Sistema de monitoreo vehicular basado en LoRa y software libre

Tabla 1.5

Análisis del cuarto tema

Alcance	Proponer un modelo de arquitectura basado en LoRa como caso experimental para poder visualizar a través de gráficas los datos almacenado por el dispositivo
Descripción de la solución	<p>La solución consta de dos partes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dragino GPS/LoRa shield de 868 MHz • LoRa Gateway Dragino LG01 • Diseño de la WEB basado en sistemas operativos abiertos
Pruebas y resultados	<p>Las pruebas realizadas consistieron en ubicar los dispositivos finales alrededor de 400 metros de la estación base</p> <p>Finalmente, el resultado no solo mostro el recorrido, sino que también mostro el RSSI (<i>Received Signal Strength Indicator</i>) que es el parámetro para identificar el nivel de señal.</p>

1.7.3.5 TEMA 5

Sistema basado en LoRa para monitoreo corredores en carreras a través del país.

Tabla 1.6

Análisis del quinto tema

Alcance	Diseñar una solución que permita implementar un monitoreo a corredores en base a tecnología LORA, de tal manera que los datos puedan ser visualizados a través de una WEB para seguir su recorrido
Descripción de la solución	<p>La solución consta de dos partes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RAK2245 es un módulo de Gateway LORA • Dragino LoRaWAN GPS Tracker LGT-92 • Diseño de la WEB
Pruebas y resultados	<p>Las pruebas realizadas consistieron en ubicar los dispositivos finales alrededor de 11.46km de la estación base</p> <p>Finalmente, el principal resultado consistió en mostrar los resultados de RSSI (dB) y la relación</p>

—————→
continua

señal a ruido (SNR) que se tiene a lo largo de todo el trayecto

Considerando los trabajos detallados, es importante dar a conocer lo siguiente:

- El principal diferenciador del presente proyecto con los trabajos investigados se ve reflejado en la aplicación final para la cual será utilizado y la arquitectura de implementación, de tal manera que se garantice integridad y seguridad en la información.
- Los criterios de búsqueda utilizados para poder identificar los trabajos detallados básicamente considero el uso de LORA como tecnología y adicionalmente, aplicaciones de geolocalización. Esto principalmente por IoT busca diferentes fines, sin embargo, los considerados para el presente proyecto tienen relación específicamente con el alcance del presente proyecto
- Se consideraron 2 paper y 3 tesis debido a que el contenido fue muy valioso en cuanto a la necesidad establecida, sin embargo, la búsqueda de LORA como tecnología no necesariamente aplicada a geolocalización muestra una

gran cantidad de resultados no solamente a nivel de Google académico (440.000 resultados de búsqueda sin aplicar ningún filtro), sino también a nivel de publicaciones de instituciones de telecomunicaciones como por ejemplo la IEEE y la ITU.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO DE REFERENCIA

2.1 INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones iniciaron con una sencilla transferencia de datos entre un emisor y un receptor a través de la utilización de un lenguaje que pueda ser interpretado por ambas partes, y en base a este mismo concepto se han ido desarrollando nuevas tecnologías.

La transferencia de datos ha ido creciendo de forma continua y acelerada, tanto en volumen como en contenido, lo cual ha provocado que la tecnología vaya ampliando sus capacidades en base a la demanda y necesidades de las personas. Es así, que ahora no solamente se realiza transferencia de datos a través de redes pequeñas, sino que llegan a utilizar al Internet como principal medio de transporte. Según un estudio de la escuela de negocios de la Universidad de Barcelona actualmente se transmiten aproximadamente 1.570 Terabytes de información en un minuto a través del internet [3]

Cada vez las exigencias de los usuarios finales a nivel de capacidades son más altas, debido a la introducción de dispositivos finales basados en capacidades sensitivas (sensores) que a más de ser autónomos en su operación, son capaces de generar altos flujos de información. Se estima que para finales

del 2020 sean alrededor de 30 mil millones de dispositivos conectados a Internet [3] y generando algún tipo de flujo de información.

Estas exigencias, han provocado una evolución también en las tecnologías de transporte de tal manera que se pueda garantizar la calidad de servicio necesaria para que la experiencia que tengan los usuarios finales, sea en realidad la planificada.

2.2 ASPECTOS GENERALES

2.2.1 COMUNICACIONES INALÁMBRICAS

Las comunicaciones inalámbricas utilizan como principal medio de transmisión el aire, es decir, a través de las ondas electromagnéticas que se propagan de forma abierta sin estar limitadas a un medio físico



Figura 2.1 Esquema de red inalámbrica [21]

Tal como se puede observar en la figura 2.1 quienes forman esta arquitectura son los emisores y receptores, todo punto adicional intermedio forma parte del medio de transmisión. Y es específicamente en el medio de transmisión en donde se ha dado la principal evolución, dado que de acuerdo a brindar una mayor capacidad de transmisión los emisores y receptores han ido evolucionando.

La movilidad es una de las principales ventajas que han presentado las comunicaciones inalámbricas a lo largo de su desarrollo y evolución, sin embargo, actualmente el objetivo de utilizar medios inalámbricos como principales formas de comunicación no se basan únicamente en buscar movilidad sino en una forma de optimizar recursos al evitar los cableados tradicionales que eran necesarios realizar antes.

2.2.2 EVOLUCIÓN

La demanda por características de comunicación más robustas a nivel de los usuarios finales ha provocado un increíble desarrollo en las tecnologías pasando de las tradicionales redes WWAN, WLAN y WPAN en donde se garantiza un adecuado manejo de los flujos de transferencia de datos con características de consumo de potencia elevado, a redes que se caracterizan por tener bajo consumo de potencia como es la LPWAN. [4]

A continuación, en la figura 2.2, se puede evidenciar cómo han evolucionado los diferentes tipos de redes y si bien la cobertura y capacidad en muchos de ellos es muy superior a otros, es importante considerar que se puede satisfacer una necesidad con la tecnología disponible según la aplicación para la cual se requiere tener una red inalámbrica.

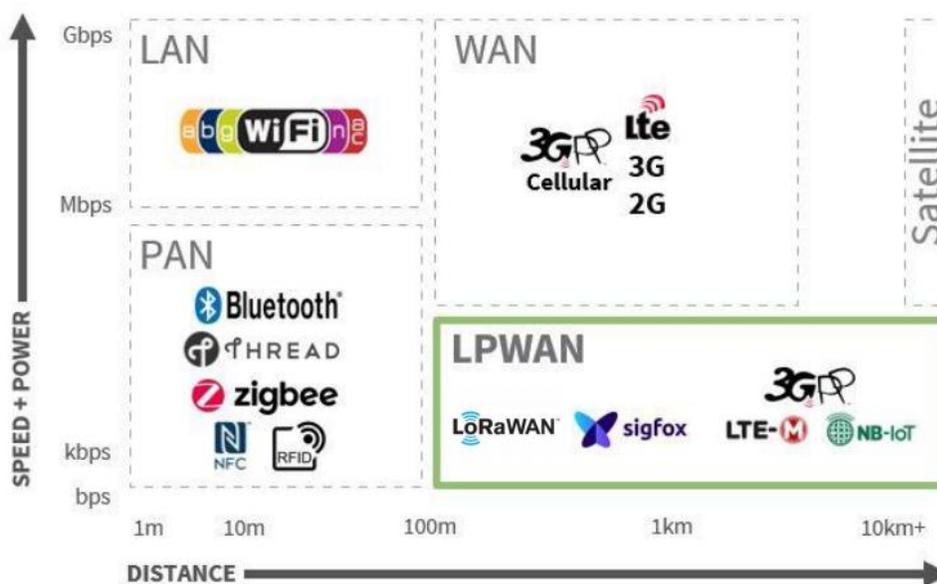


Figura 2.2 Redes inalámbricas [4]

Es importante considerar, que si bien las redes tradicionales han tenido una importante evolución, las necesidades de las personas han exigido de la tecnología funcionalidades que estén más cerca de ellos, es así que las redes de sensores inalámbricos están sufriendo un importante desarrollo.

2.3 INTERNET DE LAS COSAS (IOT)

Una red IoT consiste en una cantidad de pequeños dispositivos que operan de forma autónoma y que están distribuidos físicamente alrededor de un

monitoreo en común, de tal manera que pueden almacenar y comunicar los datos utilizando como principal interfaz el aire.

Estas redes, son actualmente muy demandadas debido a las ventajas que presenta garantizando a los usuarios finales bajo costos en los sensores y bajo consumo en la potencia. La base para este tipo de redes se dio por los últimos años del siglo XX a través de las WSN (Wireless Sensor Network) que tenían un funcionamiento similar con la diferencia que mientras la WSN únicamente recolectaba los datos IoT permite que interactúen entre dispositivos finales.

La principal diferencia entre las redes tradicionales y las redes IoT es, que mientras la una busca garantizar un correcto desempeño en los retardos y capacidad de procesamiento de información, la otra se ha enfocado en mejorar las características energéticas de los elementos que la conforman.

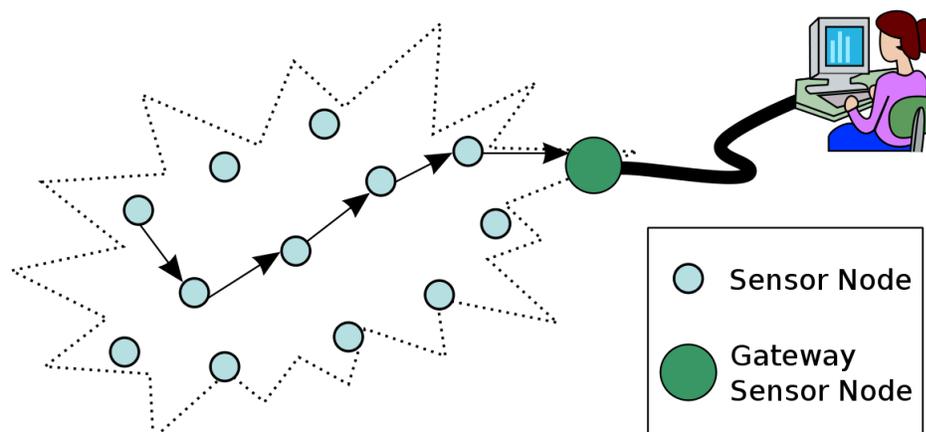


Figura 2.3 Redes de sensores inalámbricos [4]

Este tipo de redes están formadas principalmente por los siguientes elementos:

- Sensor, dispositivo con capacidades sensitivas y una operación inalámbrica encargado de la obtención de datos e información.
- Nodo, encargado de tomar los datos de los sensores y distribuirlos.
- Gateway, principal elemento de interconexión entre la red de sensores inalámbricos y una red tradicional.
- Estación Base, encargada de la recolección de los datos.

2.3.1 CARACTERÍSTICAS DE UNA IOT

La principal característica de una red IoT es el poder crear redes sin una infraestructura predefinida, sin embargo, es importante dar a conocer ciertas características que hacen de este tipo de redes una solución bastante atractiva a nivel tecnológico y de usuarios finales: [22]

- Dinamismo, debido a que no están atadas las Redes IoT a una infraestructura de red predefinida, brinda flexibilidad en cambios de la misma conforme las necesidades que se tengan.
- Autonomía, los sensores que forman parte de esta solución pueden trabajar de forma autónoma y no tener ningún equipo centralizado para enrutar la información. Sin embargo, de requerirlo pueden utilizar el recolector, considerando que este dispositivo no impacta en la autonomía completa que tienen este tipo de redes.

- Tolerancia a errores, debido a que cada sensor es autónomo el mal funcionamiento de uno de ellos no impacta en los resultados totales de la red IoT.
- Capacidad de multisalto o Broadcast, en este tipo de redes es muy característico los mensajes multisalto o broadcast debido a la autonomía de cada sensor
- Consumo de energía, es una de las características más atractivas debido a que la autonomía y la eficiencia energética le enriquecen a las características de los sensores debido a que las necesidades de los usuarios finales lo requieren.
- Costos, la puesta en operación, ampliación y aplicación es una ventaja importante que le hacen atractiva a esta red principalmente cuando existen gran cantidad de sensores.

2.3.2 SERVIDORES DE IOT

2.3.2.1 TTN (THE THINGS NETWORK)

TTN (*The Things Network*) es uno de los servidores públicos que existen para la implementación de LoRa-WAN. Esta iniciativa nació en Holanda en el año 2015 y a través de la cual se han cubierto grandes áreas.

Se estima que existen al menos 12,000 Gateways LoRaWAN instalados en aproximadamente 135 países [4]. El cifrado extremo a extremo es basado en

AES-128. Existe una versión descargable de tal manera que se pueda implementar su propia LPWAN.

Dentro de TTN es importante considerar para la configuración:

- Crear una cuenta en la página de TTN
- Agregar los dispositivos a la página publica

2.3.2.2 CHIRP STACK

CHIRP Stack es un servidor LoRaWAN de código abierto basado en una interfaz Web de para desplegar redes LPWAN públicas o privadas en base a APIs gRPC y REST.

- gRPC (*Remote Procedure Calls*), es un sistema de código abierto creado por Google. Utiliza HTTP2 para lenguaje de interfaz.
- REST (*representational state transfer*), es una arquitectura de software libre utilizado para manejo de datos en internet el cual está basado en HTTP.

2.3.3 TECNOLOGÍAS DE IOT

2.3.3.1 LR-WPAN (IEEE 802.15.4)

El IEEE 802.15.4 define las redes (Low-Rate Wireless Personal Area Network), el cual es el estándar que se utiliza como base para las definiciones de Zigbee, el cual consiste en una red WPAN de baja tasa de transmisión en este

estándar básicamente se configura la capa física y la capa de control de acceso en una comunicación inalámbrica. [5] cada tiempo de símbolo (T_s) la frecuencia.

El nivel físico provee como su nombre lo indica la transmisión de datos sobre el medio físico (aire) utilizando las bandas de frecuencia disponibles 868-868,8 MHz: Europa, 902-928 MHz: Norte América y 2400-2483,5 MHz en el resto del mundo

El nivel de acceso al medio permite la transmisión de las tramas MAC a través del medio físico. Su operación está basada en las capas del modelo OSI. La tasa de transferencia es de 250kbps.

2.3.3.2 Bluetooth LE (Low Energy) (IEEE 802.15.1)

Bluetooth es un estándar para comunicaciones inalámbricas de corto alcance y bajo consumo de energía. Es una tecnología de red de área personal inalámbrica (WPAN), basada en la especificación 802.15.1. Este trabajo presenta una visión general sobre la comunicación Bluetooth.

La tecnología inalámbrica Bluetooth contempla:

- Especificación abierta y publica
- Capacidad de corto alcance
- Compatibilidad con voz y datos

- Utiliza una banda de frecuencia no regulada disponible en cualquier parte del mundo.

La versión de Bluetooth 5 está orientada específicamente a IoT garantizando tasas de transferencia de 1 Mbps [7].

2.3.3.3 WiFi HaLow (IEEE 802.11 ah)

Es un estándar de la familia 802.11 que está orientado a Internet de las Cosas que entre las características principales tienen el bajo consumo de energía que se suman a altas tasas de transferencia y coberturas amplias.

Opera en la banda de los 900MHz que puede llegar a tasas de transferencia de hasta 600Mbps. [8]

Es considerada una opción dentro del IoT debido a que experimenta bajo consumo de potencia y por tanto puede garantizar las características principales de las redes de sensores inalámbricas.

2.3.3.4 LPWAN (IEEE 802.15.4w)

Es un estándar de la familia 802.15 que entre sus características principales tienen el bajo consumo de energía que se suman a altas tasas de transferencia y coberturas amplias. Dentro de este tipo de redes está considerada la LORA-WAN que será el tipo de red utilizado a lo largo de este estudio.

2.4 LORA

LORA es una tecnología inalámbrica basada en un sistema de radio frecuencia que da origen al protocolo LoRa-WAN que está siendo muy utilizada en Internet de las Cosas (IoT) que entre las características más importantes están:

- Bajo consumo de energía
- Bajo costo de instalación
- Autonomía de los dispositivos
- Arquitectura de fácil despliegue
- Seguridad de transferencia de datos
- Modulación adecuada para evitar interferencias

Es importante resaltar que LoRa (Capa Física) es la tecnología en la cual se desarrolló el protocolo de LoRa-WAN (Capa MAC).

2.4.1 ARQUITECTURA

La arquitectura de LoRa-WAN está relacionada a una topología SoS (Estrella de Estrellas) que tiene 3 elementos básicos [9]:

- Dispositivos finales, que son los sensores que se comunican con el servidor central a través de los Gateways. Esta comunicación se realiza a través de Radio Frecuencia tal como se puede observar en la figura 2.4.
- Gateways, son los encargados de recibir los mensajes entre sensores o entre sensor y servidor central. La comunicación entre los Gateways y el servidor central tal como se lo visualiza en la figura 2.4 es basada en cualquier tecnología de acceso alámbrico o inalámbrico.
- Servidor de red central, envía o recibe los mensajes de los dispositivos finales.

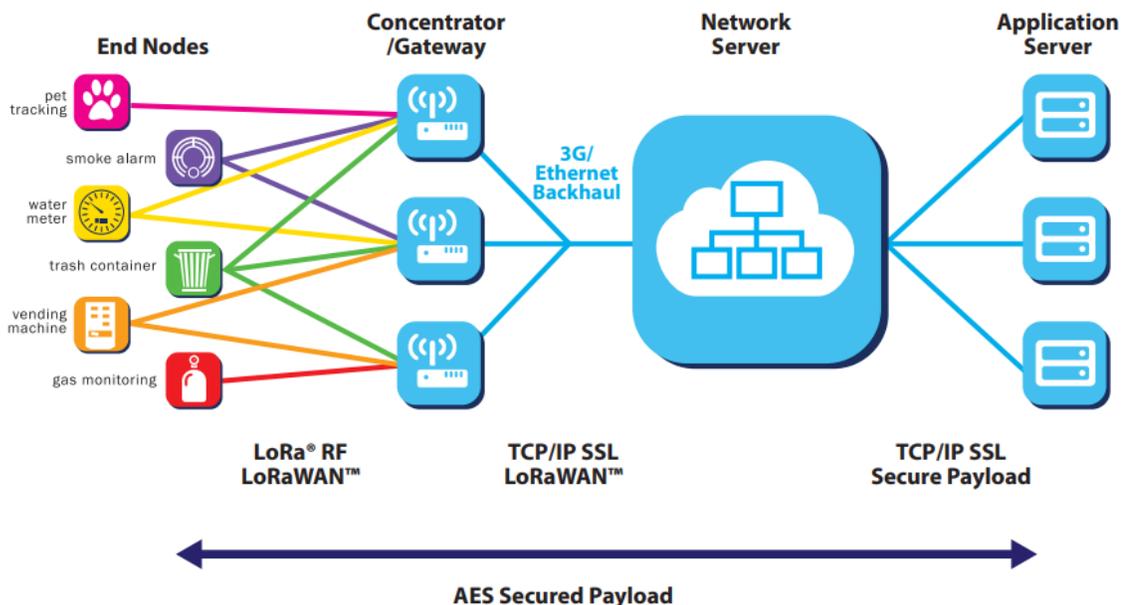


Figura 2.4 Arquitectura LoRA-WAN (a) [9]

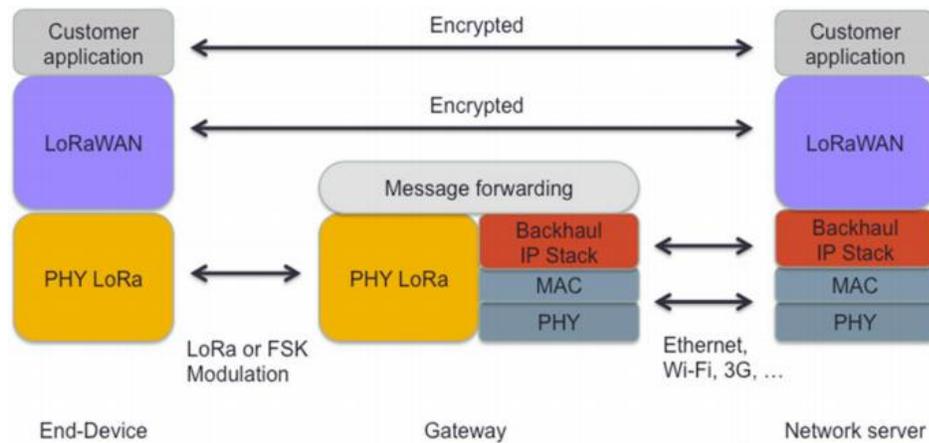


Figura 2.4 Arquitectura LoRa-WAN (b) [12]

LoRa-WAN garantiza integridad y encipción adecuada del dato extremo a extremo a través de un esquema basado en capas tal como se muestra en la figura 2.6. Las capas superiores son los encargados de establecer la sesión y ofrecer la confidencialidad en base a la ASK (Aplicattion Session Key), mientras que la integridad de los datos se la obtiene en base a texto cifrado a través de la NSK (Network Session Key).

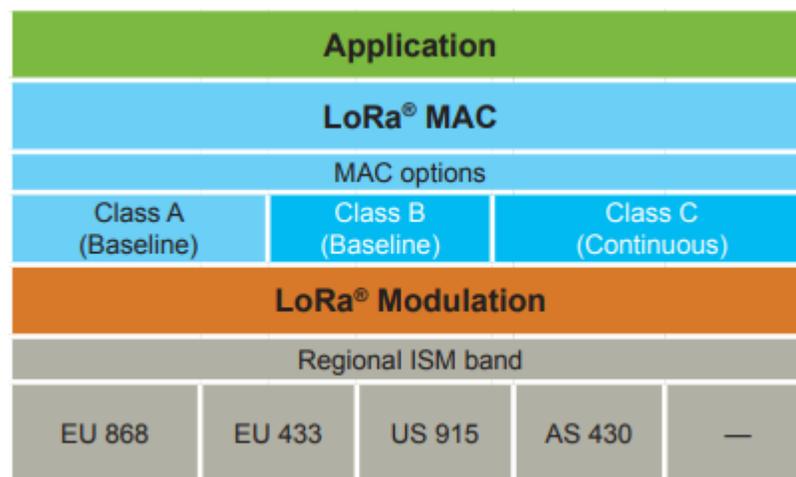


Figura 2.5 Capas LoRa-WAN [4]

2.4.2 CAPAS DE LORA-WAN

2.4.2.1 Capa Física

La capa física es la encargada de la comunicación entre los dispositivos finales y el Gateway basado en el mecanismo de espectro extendido chirp (CSS), cuyo objetivo principal es reducir la tasa de datos de tal manera que con ello se reduce el ancho de banda. Esto, se lo logra debido a que los símbolos chirps deben ser continuos de tal manera que se garantiza la sincronización de tiempo y frecuencia adecuada sin necesidad de una fuente de sincronismo externa.

La banda de radio frecuencia para comunicación varía dependiendo del país en el cual se va a realizar la implementación, sin embargo, se consideran las siguientes reglas generales:

- El dispositivo final cambia de canal de manera aleatoria conforme inicia una nueva transmisión.
- El dispositivo final respeta el máximo ciclo de trabajo de transmisión relativo a la sub-banda y a las regulaciones locales.
- El dispositivo final respeta la máxima duración de transmisión.

2.4.2.1.1 Modulación

LoRa es una modulación de espectro expandido que utiliza la técnica chirp que consiste en modular el mensaje por medio de una señal que varía

continuamente en frecuencia. LoRa utiliza CSS como mecanismo de modulación, el cual considera tres parámetros principales:

- Ancho de banda (BW), usualmente está entre los 125 KHz a 250 KHz
- Factor de ensanchamiento (SF), el cual puede ser desde 7 hasta 12 y permite determinar el número de símbolos chirps los cuales son 2^{SF}
- Tasa de código (CR), el cual es considerado debido a que LoRa utiliza FEC (Forwarding Error Correction) como un mecanismo de corrección de errores
- Tasa de bits (DR), es el número de bits o caracteres que pueden ser transmitidos.
- Payload o carga útil, es el conjunto de datos transmitidos que en realidad es el mensaje enviado.

Considerando estos parámetros es posible calcular la tasa de bits de LoRa basado en la siguiente ecuación:

$$R_b = SF \frac{\text{Código de tasa}}{\frac{2^{SF}}{BW}} [\text{bit/s}] \text{ (Ecuación 1) [13]}$$

Donde:

$$\text{Código de tasa} = \frac{4}{4 + CR}$$

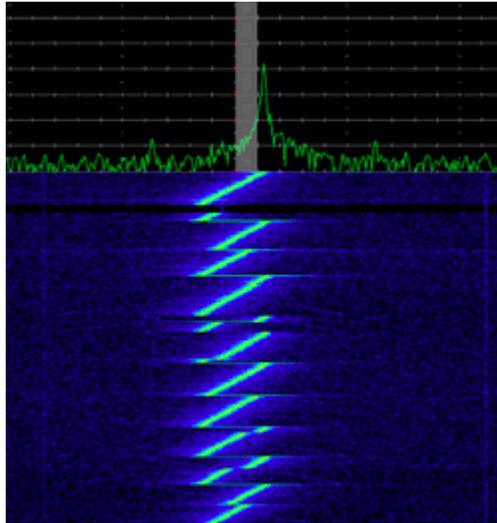


Figura 2.7 Extracto del espectro de un chirp [13]

Para entender la figura 2.7, en cada tiempo de símbolo (T_s) la frecuencia se establece en un valor fijo y comienza a crecer desde ahí, el valor al que se modifica es el símbolo del mensaje enviado.

Ejemplo:

Tomando en cuenta tiene 6 Factores de Ensanchamiento (SF7 – SF12) y trabaja en 3 Anchos de Banda (125KHz, 250KHz y 500 KHz), por tanto, para el ejemplo consideraremos SF=7, BW=125 y CR=1

$$R_b = 7 \frac{\frac{4}{4+1}}{\frac{2^7}{125000}} \left[\frac{bit}{s} \right]$$

$$R_b = 5,469 \left[\frac{\text{kbit}}{\text{s}} \right]$$

Adicionalmente se consideran los siguientes parámetros adicionales:

- Potencia de transmisión, la cual varía entre -4dBm y 20 dBm según definiciones, sin embargo, en la implementación varía entre 2dBm y 20dBm
- Frecuencia de portadora, dependiendo del chip y de la frecuencia de la zona puede variar, pero los saltos de variación son de 61Hz

2.4.2.1.2 Formato del mensaje

El mensaje de la capa física de LoRa está constituido por los siguientes campos:

- Preámbulo
- PHDR (Physical Header)
- PHDR_CRC (Physical Header Cyclic Redundancy Check)
- PHY Payload
- CRC (Cyclic Redundancy Check)

Preamble [n symbols]	PHDR [2 Bytes]	PHDR_CRC [4 bits]	PHY Payload [Variable]	CRC (*) [2 Bytes]
-------------------------	-------------------	----------------------	---------------------------	----------------------

Figura 2.8 Mensaje capa física LoRa [12]

2.4.2.2 Capa MAC

La capa MAC es definida por la Alianza Lora como LORAWAN, la cual está basada en un protocolo ALOHA. Dentro de las características de este protocolo consta la tasa de datos adaptativa la cual permite la flexibilidad y adaptación de la tasa de transmisión entre los dispositivos y el servidor lo cual a su vez garantiza la eficiencia energética. Dentro de las características especiales de esta capa esta la seguridad que se brinda a la información transmitida en base a los mecanismos de seguridad de red y de aplicación.

2.4.2.2.1 Formato del mensaje

El mensaje de la capa física de LoRa está constituido por los siguientes campos:

- MHDR (MAC Header)
- MAC Payload
- MIC (Message Integrity Code)

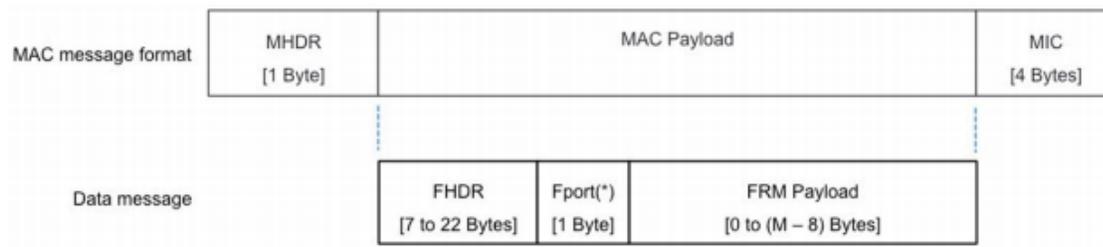


Figura 2.9 Mensaje capa MAC LoRa [12]

Este mensaje es el PHY payload del mensaje de la capa física. Los mensajes de la trama MAC pueden ser de asociación, de confirmación o de no confirmación.

Adicionalmente, tal como se puede observar en la figura 2.9 existe un formato de mensaje que va dentro del Payload de la MAC que está constituido por los siguientes campos:

- FHDR (Frame Header)
- Fport
- FRM Payload

2.4.3 CLASES DE DISPOSITIVOS LORA

LoRa-WAN define tres clases en las cuales pueden ser desarrollados los dispositivos:

- Clase A, es el de menos consumo de energía y puede ser soportado por todos los dispositivos. La característica diferencial de esta clase de dispositivos Lora, es que la transmisión es iniciada por los dispositivos finales y una vez completada el servidor permite tener dos ventanas de transmisión: una para comandos o paquetes de datos y la otra para controlar las fluctuaciones del canal.
- Clase B, introduce los canales de subida y de bajada de forma simultánea. En esta clase los dispositivos finales reciben la

sincronización desde el servidor a través de mensajes broadcast denominados beacon.

- Clase C, en este tipo de dispositivos se tienen las ventanas de transmisión abiertas de forma continua por tanto reflejan mayor consumo de energía, pero con menor latencia.

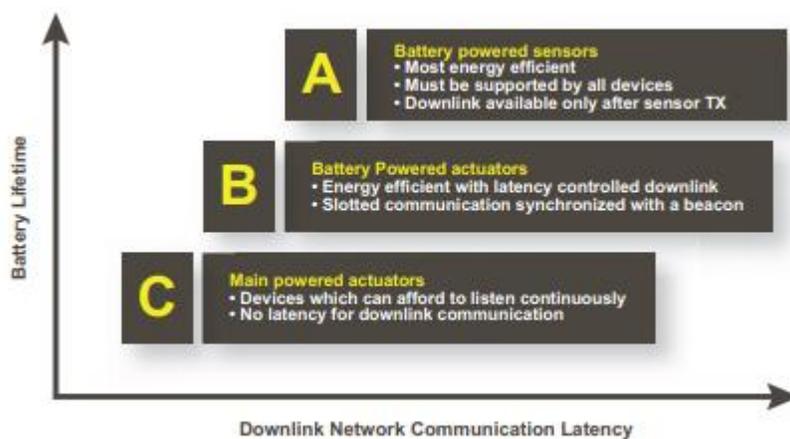


Figura 2.10 Clases de Dispositivos LoRa [4]

2.4.4 SEGURIDAD LORA

Es importante que al ser LoRa una tecnología de tráfico por aire o TOA (*Time on Air*), garantice esquemas de seguridad robustos. Es así, que la seguridad de LoRa está constituida en dos capas:

- Capa de red: asegura la autenticidad e integridad del dispositivo final.

- Capa aplicación: asegura que el usuario de la red no disponga del acceso a la información de la aplicación del dispositivo final.

Finalmente, esta seguridad se hace efectiva en base a la denominada APPKey la cual es una clave AES-128 que utiliza el dispositivo para generar las claves de encriptación de red y aplicación.

2.4.5 ACTIVACIÓN DE DISPOSITIVOS LORA

Como en toda arquitectura de telecomunicaciones, los dispositivos LORA deben cumplir con un procedimiento de registro o activación en la red la cual puede ser de dos maneras:

2.4.5.1 Activación en el Aire

La activación en el aire consiste en el siguiente procedimiento:

- i) El dispositivo final envía un mensaje de registro o activación con los campos AppEUI y DevEUI
 - AppEUI, o identificador de la aplicación.
 - DevEUI o identificador del dispositivo final, está basado en un espacio de direcciones EUI IEEE64 que dan identidad a un dispositivo y lo hacen único para las redes LORAWAN
- ii) El servidor de red responde con el mensaje de aceptación que contiene la dirección asignada (DevADDR). Adicionalmente, contiene el campo APP que combinada con la APPKey generan las

NSK y ASK para garantizar la confidencialidad e integridad de la información.

2.5 APLICACIONES

IoT está muy enrolado en el mundo de las aplicaciones con el fin de garantizar autonomía e inteligencia en las soluciones, entre los principales campos de aplicación tenemos:

- Centros de Datos inteligentes
- Parqueaderos
- Agricultura y monitoreo de sembríos

Sin embargo, las necesidades han ido involucrando más a las redes IoT como una solución base para las ciudades inteligentes, de tal manera que puedan irse ampliando los campos de aplicación en los cuales se puedan implementar solución en base a esta propuesta de innovación tecnológica.

CAPITULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1 ANÁLISIS DE LA SOLUCIÓN DE TRACKING VEHICULAR

3.1.1 DIAGRAMA DE BLOQUES

En la figura 3.1, se presenta el diagrama de bloques de la arquitectura a ser implementada, la cual se sigue considerando los componentes de una red Lora WAN en el cual se detallan:

- El transmisor está constituido por el nodo final que será el que genera la información y modulo LORA
- El receptor está constituido por el LORA Gateway el cual es el encargado de interpretar y traducir la información para poder ser enviados y visualizados en el servidor WEB.

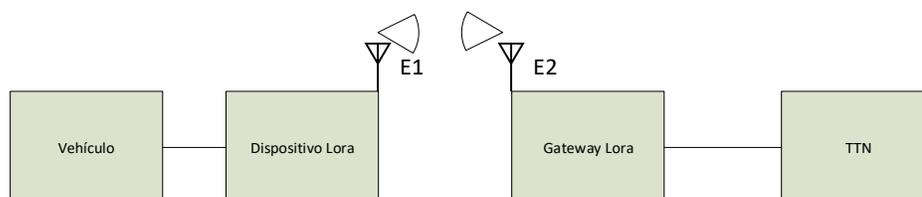


Figura 3.1 Diagrama de bloques de la solución

3.2 ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN

3.2.1 DISPOSITIVOS LORA (UTILIZADOS)

A continuación, se dan a conocer los equipos utilizados para el proyecto de tracking vehicular:

- KIT Dragino Single Channel Lora IoT, el cual está diseñado para que de manera fácil se pueda aprender y desarrollar el conocimiento en IoT. La programación es bastante predecible y no tan compleja de tal manera que podemos interconectar nuestros dispositivos a través de un espectro abierto. El alcance de estos dispositivos hacia el Gateway puede estar entre los 500 a 5,000 metros.



Figura 3.2 Kit Dragino [19]

- GW LoRa de un solo canal LG01-N, el LoRa gateway del Kit Dragino, es un terminal que facilita el desarrollo de soluciones y aplicaciones basados en la tecnología Lora de un solo canal.

Permite que exista una conexión a la red IP a través de redes WiFi, Ethernet o Móvil. La flexibilidad de conexión, garantiza que exista una gran variedad de sensores que puedan ser conectados al internet. Adicionalmente, Trabaja en una sola frecuencia y es utilizado para brindar soluciones inalámbricas de entre 50 y 300 dispositivos, dependiendo de las aplicaciones.

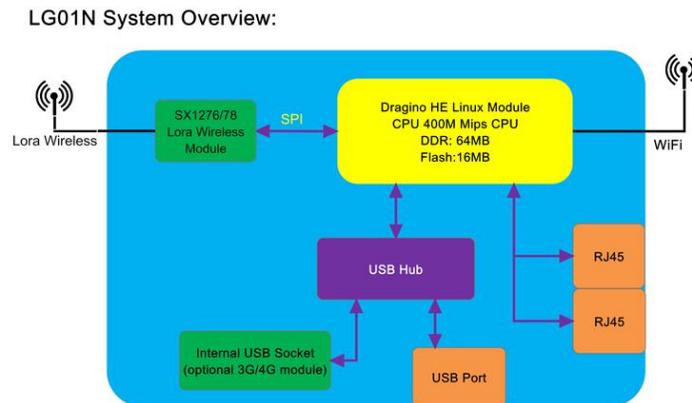


Figura 3.3 Estructura GW Lora [20]

A continuación, se detallan las especificaciones del LG01-N:

- Procesador: 400MHz, 24K MIPS
- Memoria Flash: 16 MB; RAM: 64MB
- Controlador LoRa: AR9331 24K MIPS / Linux
- Chip LoRa: SX2176
- Interfaces:
 - 10M/100M RJ45 Ports x 2
 - WiFi : 802.11 b/g/n

- LoRa Wireless
- Alimentación: 12V DC
- Conector USB 2.0 externo
- Conector USB 2.0 interno
- Interfaz LoRa



Figura 3.4 LG01-N [19]

- Nodo final LoRa (LoRa / GPS Shield + Arduino UNO), es un dispositivo final LoRaWAN GPS para utilizar con Arduino. Está constituido por la placa base de la tecnología Lora, la cual es de largo alcance, inmune altas interferencias y optimo consumo de energía; e incluye también el dispositivo GPS el cual a través de los puertos seriales al Arduino permiten la obtención de información GPS.

Este módulo cuenta con la tecnología AlwaysLocate, para garantizar precisión en el posicionamiento y adecuado consumo de energía de acuerdo con las condiciones ambientales y de movimiento.



Figura 3.5 LoRa / GPS Shield [19]

A continuación, se detallan las especificaciones del LoRa / GPS Shield:

- Modulo LoRA
 - Estimación de enlace máximo 168 dB.

- Constante de radio frecuencia +20 dBm - 100 mW
- Tasa de bit programable hasta 300 kbps.
- Sensibilidad: menor a -148 dBm.
- IIP3 = -12.5 dBm.
- Inmunidad a altas interferencias.
- Consumo de corriente en RX:10.3 mA
- Sintetizador integrado con una resolución de 61Hz
- Modulación FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM and OOK
- RSSI Rango Dinámico 127 dB.
- Detección automática de RF con ultra-fast AFC.
- Detección de errores CRC hasta 256 bytes
- Sensor de temperatura y baja batería
- Modulo GPS
 - Basado en MT3339.
 - Consumo de corriente, adquisición: 25mA, Tracking: 20mA.
 - Compatibilidad con GPS, SBAS.
 - Tasa de bits programable hasta 300 kbps.
 - Interfaz serial UART
 - Tasa de subida:1Hz (Default), hasta 10Hz.
 - Voltaje I/O: 2.7V ~ 2.9V.
 - Protocolos: NMEA 0183, PMTK.
 - Precisión de posición: <2.5 m CEP.

- Precisión de tiempo: 1PPS en 10ns
- Velocidad de precisión <math><0.1\text{m/s}</math>,
- Aceleración de precisión 0.1m/s^2 .
- Sensibilidad de adquisición: -148dBm, Sensibilidad de Tracking -165dBm, Sensibilidad de readquisición -160dBm.
- Temperatura de operación -40°C hasta 85°C , Temperatura de almacenamiento -45°C hasta 125°C .
- Altitud máxima Max.18000m, Velocidad máxima Max.515m/s, aceleración máxima 4G.
- Banda receptora L1 (1575.42MHz) Canal 22 (Tracking) / canal 66 (adquisición).

3.2.2 UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS

Dado que los equipos son fáciles de movilizar y cuentan con autonomía energética y debido a que las pruebas son realizadas en campo la estructura y disposición de los mismos están expuestas en la Figura 3.6.

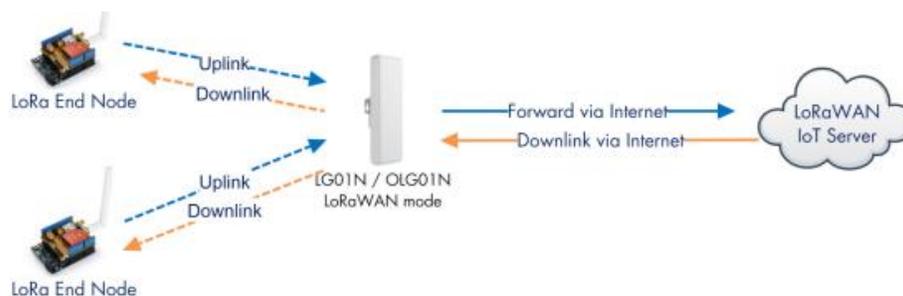


Figura 3.6 Diagrama de solución [19]

3.3 CONFIGURACIÓN DE LA SOLUCIÓN

Es necesario realizar un comisionamiento de los equipos del KIT Dragino a través de la instalación del software base de operación de los equipos que es el Arduino IDE, dentro del cual constan las siguientes principales librerías:

- Arduino LMIC, librería Lora WAN para que los nodos finales formen parte de una red Lora WAN
- Lora-raw, librería básica para la transmisión y recepción.
- Tiny GPS, librería para la funcionalidad de GPS dentro del módulo de LORA

3.3.1 CONFIGURACIÓN DEL RECEPTOR

La configuración del receptor debe tomar en cuenta que primero debe tener acceso a Internet para alcanzar al servidor TTN, y a continuación se realiza el siguiente procedimiento:

3.1.1.1 Configuración del LoRA GW

a) Configuración para acceso a Internet

A través de una computadora en el puerto LAN se accede al LG01-N para configurar los parámetros de acceso al internet, por defecto la IP es la 10.130.1.1.

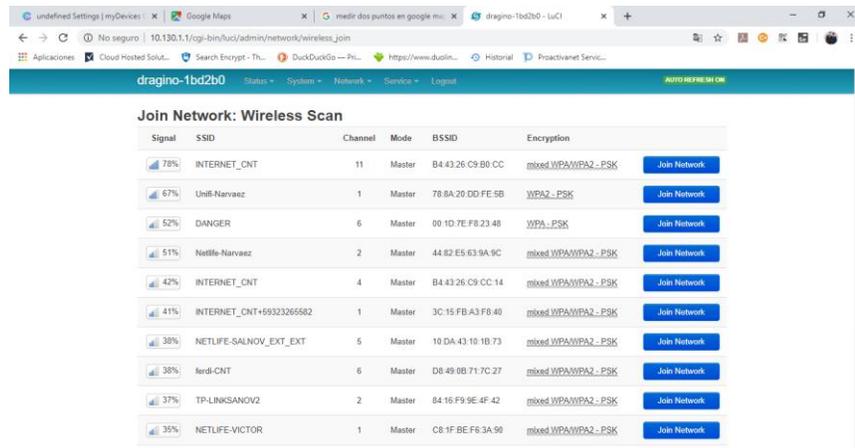


Figura 3.7 Configuración de internet en Gateway (a)

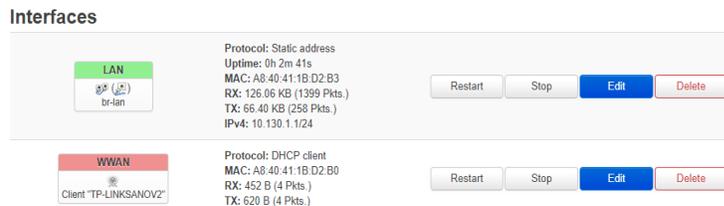


Figura 3.7 Configuración de internet en Gateway (b)

b) Configuración del modo de operación del LG01-N

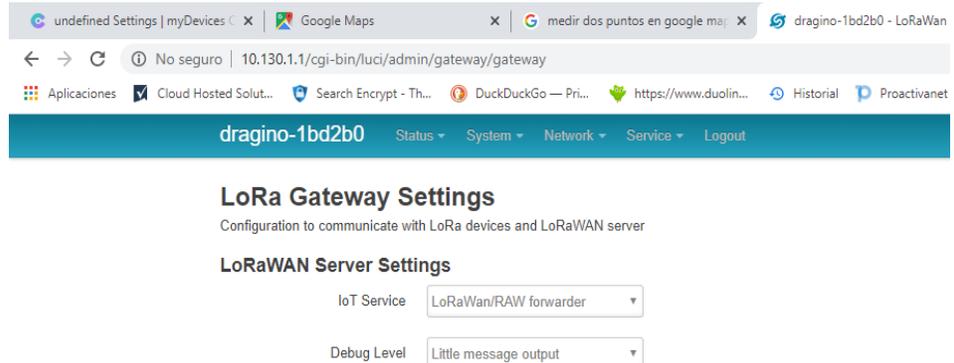


Figura 3.8 Configuración de LG01-N

The screenshot shows the web interface for a dragino-1bd2b0 gateway. The page title is "dragino-1bd2b0" and the URL is "10.130.1.1/cgi-bin/luci/admin/gateway/gateway". The interface includes a navigation menu with "Status", "System", "Network", "Service", and "Logout". The main content area displays radio settings for Channel 1, including fields for Longitude (114.23), RadioMode (A for RX, B for TX), Radio Power (range 5 - 20 dBm), RadioA Frequency (915100000), RadioA Spreading Factor (SF7), RadioA Coding Rate (4/5), RadioA Signal Bandwidth (125 kHz), RadioA Preamble Length (8), RadioA LoRa Sync Word (52), and Encryption Key.

Figura 3.9 Parámetros de radio

c) Agregar información del servidor y el Gateway

Dentro del módulo LG01-N se debe considerar la siguiente información con respecto a la dirección de red para la interfaz hacia el servidor web de TTN (ttn-router-us-west)

LoRa Gateway Settings

Configuration to communicate with LoRa devices and LoRaWAN server

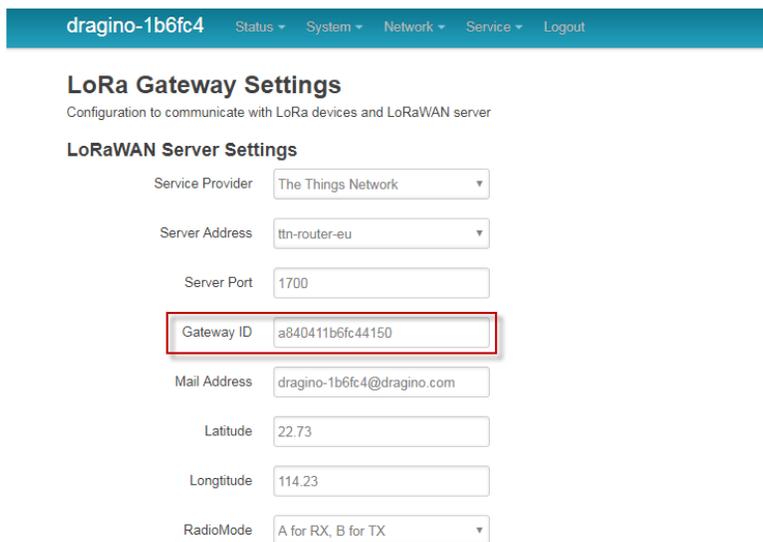
LoRaWAN Server Settings

IoT Service	LoRaWAN/RAW forwarder
Debug Level	Little message output
Service Provider	The Things Network
Server Address	ttn-router-us-west
Server Port	1700

Figura 3.10 Configuración de servidor TTN en el LG01-N

3.1.1.2 Configuración del Server LORA TTN

- Obtención del ID del Gateway del dispositivo LG01-N



dragino-1b6fc4 Status System Network Service Logout

LoRa Gateway Settings

Configuration to communicate with LoRa devices and LoRaWAN server

LoRaWAN Server Settings

Service Provider	The Things Network
Server Address	ttn-router-eu
Server Port	1700
Gateway ID	a840411b6fc44150
Mail Address	dragino-1b6fc4@dragino.com
Latitude	22.73
Longitude	114.23
RadioMode	A for RX, B for TX

Figura 3.11 ID del Gateway

- Autenticación en el servidor TTN

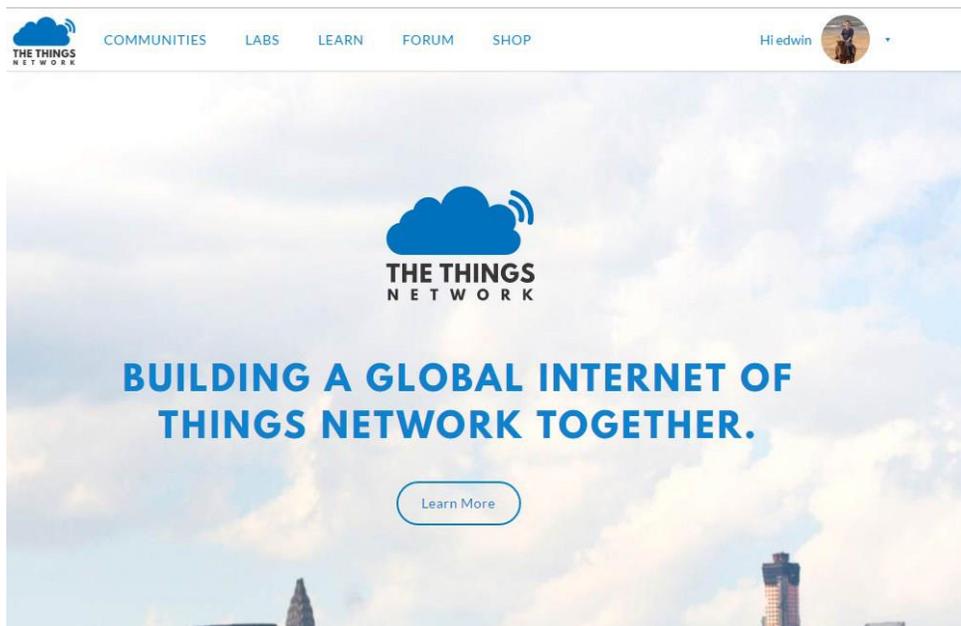


Figura 3.12 Autenticación TTN

- Creación del Gateway en el servidor TTN



Figura 3.13 Creación del Gateway (a)

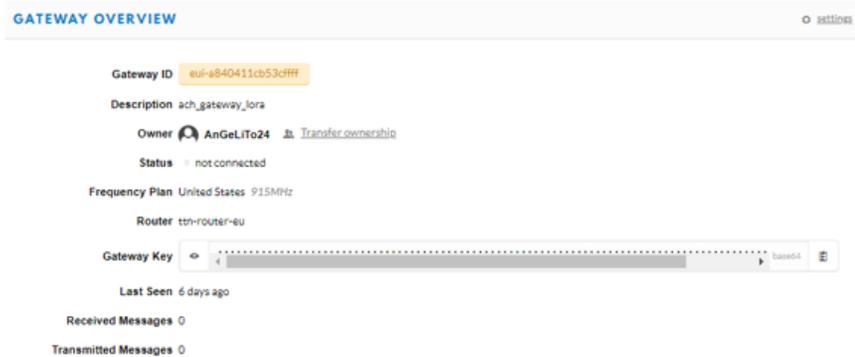


Figura 3.13 Creación del Gateway (b)

3.3.2 CONFIGURACIÓN DEL TRANSMISOR

3.3.2.1 Conexión del hardware

Se lo realiza, de tal manera que el LORA GPS interactúe de manera correcta con el módulo de LORA, tal como se indica en la figura 3.11.

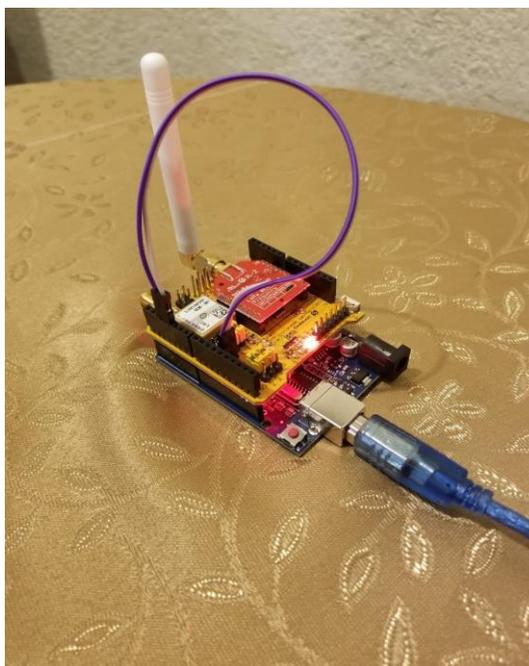


Figura 3.14 Conexión del hardware GPS

3.3.2.2 Configuración del dispositivo

a) Configuración del dispositivo en TTN

Primero se debe agregar el dispositivo en la página de TTN

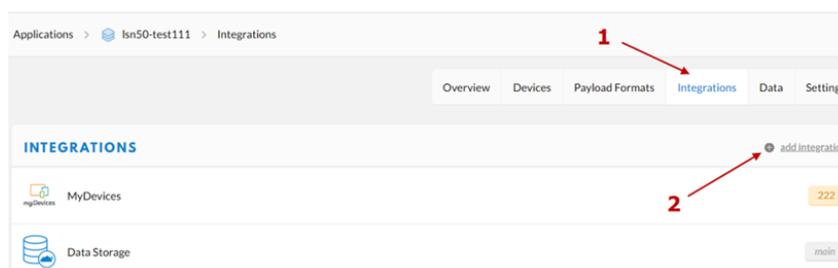


Figura 3.15 Agregar dispositivo en TTN (a)

Agregar el devEUI del dispositivo final en la aplicación WEB

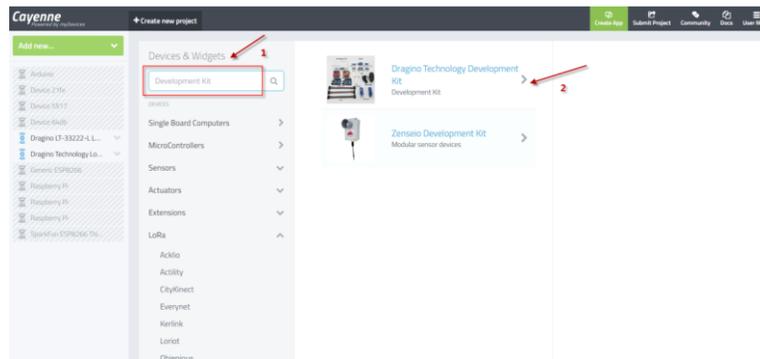


Figura 3.16 Agregar dispositivo en TTN (b)

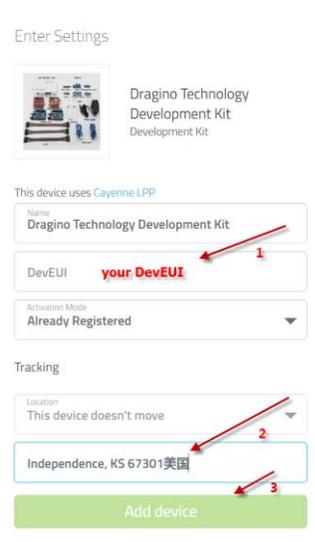


Figura 3.17 Agregar dispositivo en TTN (c)

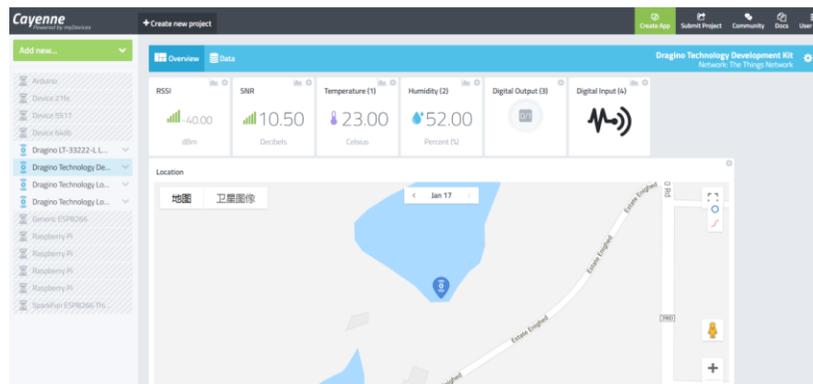


Figura 3.18 Visualización en Cayenne

- b) Se debe realizar la configuración en modo ABP (Activation by Personalization) en el servidor TTN

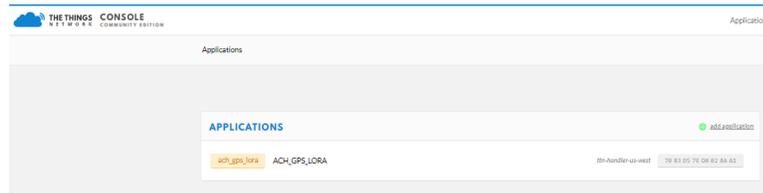


Figura 3.19 Creación de la Aplicación (a)

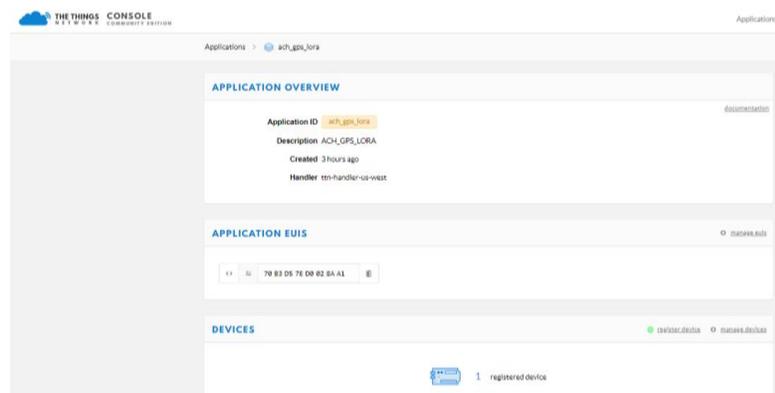


Figura 3.19 Creación de la Aplicación (b)

The screenshot shows the 'APPLICATION DATA' page with a table of data. The table has columns for time, counter, port, and payload. The data is filtered by 'uplink' and 'downlink'.

time	counter	port	payload	gps_3.altitude	gps_3.latitude	gps_3.longitude
19:07:05	74	1	payload: 03 88 FF FA 5F F4 06 CF 04 5C 90	2858.4	-0.1441	-7
19:04:57	72	1	payload: 03 88 FF FA 3B F4 07 06 04 6D FC	2983	-0.1477	-78
19:01:46	69	1	payload: 03 88 FF FA 3C F4 07 06 04 6C 1C	2899.2	-0.1476	-7
18:59:39	67	1	payload: 03 88 FF FA 46 F4 07 07 04 66 B6	2883.9	-0.1466	-7
18:58:35	66	1	payload: 03 88 FF FA 49 F4 06 F8 04 61 CC	2871.8	-0.1463	-7
18:57:31	65	1	payload: 03 88 FF FA 57 F4 06 DD 04 5D 12	2859.7	-0.1449	-7
18:55:23	63	1	payload: 03 88 FF FA 63 F4 06 F1 04 6E B8	2984.4	-0.1437	-7

Figura 3.19 Creación de la Aplicación (c)

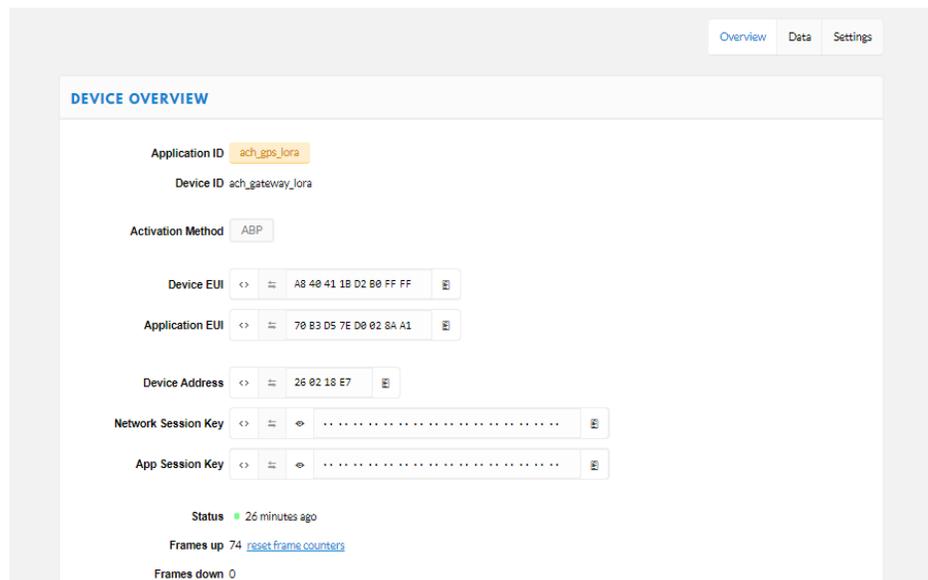


Figura 3.20 Parámetros del dispositivo

c) Configuración del dispositivo en base a Arduino

```

GPS_prueba_09012020 | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help

GPS_prueba_09012020
// LoRaWAN NetworkKey, network session key
// This is the default Semtech key, which is used by the early prototype TTN
// network.
static const PROGMEM ul_s_NETWORKKEY[16] = { 0x62, 0x8F, 0x2E, 0x8D, 0xD4, 0x0F, 0x1D, 0x69, 0xA8, 0x94, 0x06, 0xFA, 0x37, 0x4D, 0xC7, 0xB3 };

// LoRaWAN AppSKey, application session key
// This is the default Semtech key, which is used by the early prototype TTN
// network.
static const ul_s_PROGRAM_APSKEY[16] = { 0xA6, 0x59, 0xA6, 0x73, 0xA3, 0x4D, 0x8F, 0x42, 0xA7, 0xF0, 0xE8, 0x37, 0xA6, 0x39, 0x99, 0xEE };

// LoRaWAN end-device address (DevAddr)
static const ul_s_DEVADDR = 0x260218E7; // --- Change this address for every node!

// These callbacks are only used in over-the-air activation, so they are
// left empty here (we cannot leave them out completely unless
// DISABLE_SOIN is set in config.h, otherwise the linker will complain).
void on_getArtEui( ul_s* buf) { }
void on_getDevEui( ul_s* buf) { }
void on_getDevKey( ul_s* buf) { }

Done uploading
Verifying flash memory against architecture: upload
avrduinos: load data flash data from input file C:\Users\ANGELC-1\AppData\Local\Temp\arduino_build_221954/GPS_prueba_09012020.ino.hex:
avrduinos: input file C:\Users\ANGELC-1\AppData\Local\Temp\arduino_build_221954/GPS_prueba_09012020.ino.hex contains 29632 bytes
avrduinos: reading on-chip flash data:
Reading | ##### | 100% 3.45s
avrduinos: verifying ...
avrduinos: 29632 bytes of flash verified
avrduinos: done. Thank you.
  
```

Figura 3.21 Parámetros Arduino (a)

```

1  #ifndef _lmic_config_h_
2  #define _lmic_config_h_
3
4  // In the original LMIC code, these config values were defined on the
5  // gcc commandline. Since Arduino does not allow easily modifying the
6  // compiler commandline, use this file instead.
7
8
9  // #define CFG_eu868 1
10 #define CFG_us915 1
11 // #define CFG_us923 1
12 // #define CFG_as923 1
13 // #define CFG_in866 1
14
15 #define LG02_LG01 1
16
17 // US915: DR_SF10=0, DR_SF9=1, DR_SF8=2, DR_SF7=3, DR_SF9C=4
18 // DR_SF12CR=8, DR_SF11CR=9, DR_SF10CR=10, DR_SF9CR=11, DR_SF8CR=12, DR_SF7CR
19 #if defined(CFG_us915) && defined(LG02_LG01)
20 // CFG_us915 || CFG_as923
21 #define LG02_UPFREQ 915100000
22 #define LG02_DWTFREQ 915100000
23 #define LG02_RXSF 3 // DR_SF7 For LG01/LG02 Tx
24 #define LG02_TXSF 8 // DR_SF12CR For LG02/LG02 Rx
25 #elif defined(CFG_eu868) && defined(LG02_LG01)
26 // CFG_eu868
27 // EU868: DR_SF10=0, DR_SF11=1, DR_SF10=2, DR_SF9=3, DR_SF8=4, DR_SF7=5, DR_SF7B=1, DR_FSK, DR_NONE
28 #define LG02_UPFREQ 868100000
29 #define LG02_DWTFREQ 868250000
30 #define LG02_RXSF 5 // DR_SF7 For LG01/LG02 Tx
31 #define LG02_TXSF 0 // DR_SF12 For LG02/LG02 Rx
32 #endif
33
34 // Set this to 1 to enable some basic debug output (using printf) about
35 // RF settings used during transmission and reception. Set to 2 to
36 // enable more verbose output. Make sure that printf is actually
37 // configured (e.g. on AVR it is not by default), otherwise using it can
38 // cause crashing

```

Figura 3.22 Parámetros Arduino (b)

3.4 ARQUITECTURA FINAL DE LA SOLUCIÓN

Finalmente, la arquitectura de la solución queda establecida, configurada e integrada con las siguientes consideraciones:

- Servidor TTN, el cual es de acceso público y está ubicado en el internet. Para esta solución se utilizará el servidor de Estados Unidos.
- Dispositivo LoRa Gateway LG01-N, el cual está ubicado en el sector de la Kennedy, de tal manera que estratégicamente permite que se realicen las pruebas en esa zona.
- Dispositivo LORA GPS, el cual está constituido por el modulo LORA y el módulo GPS y que está ubicado en un vehículo gracias a la autonomía del módulo.

Con esta arquitectura se realizarán todas las pruebas necesarias para realizar el tracking vehicular planteado en el alcance del presente proyecto.

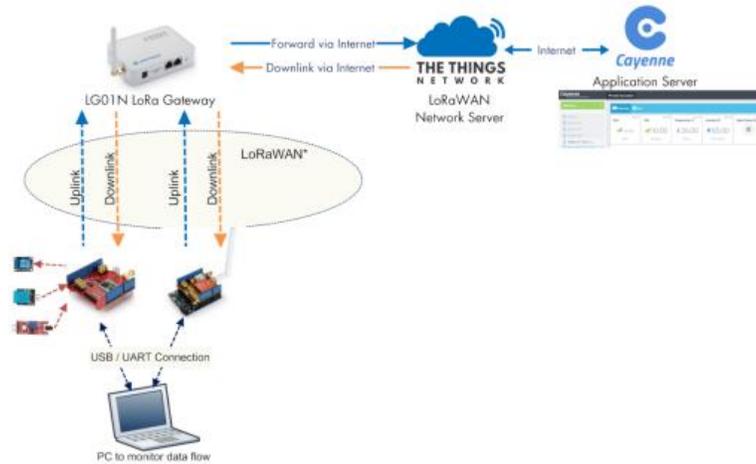


Figura 3.23 Proyecto de tracking vehicular [19]

CAPITULO IV

PRUEBAS Y RESULTADOS

4.1 DEFINICIÓN DE ESCENARIOS

Este trabajo se centra en la validación de la confiabilidad de realizar monitoreo vehicular con una arquitectura basada en la tecnología LoRa, de tal manera físicamente se implementó el Gateway de LoRa en la siguiente ubicación:

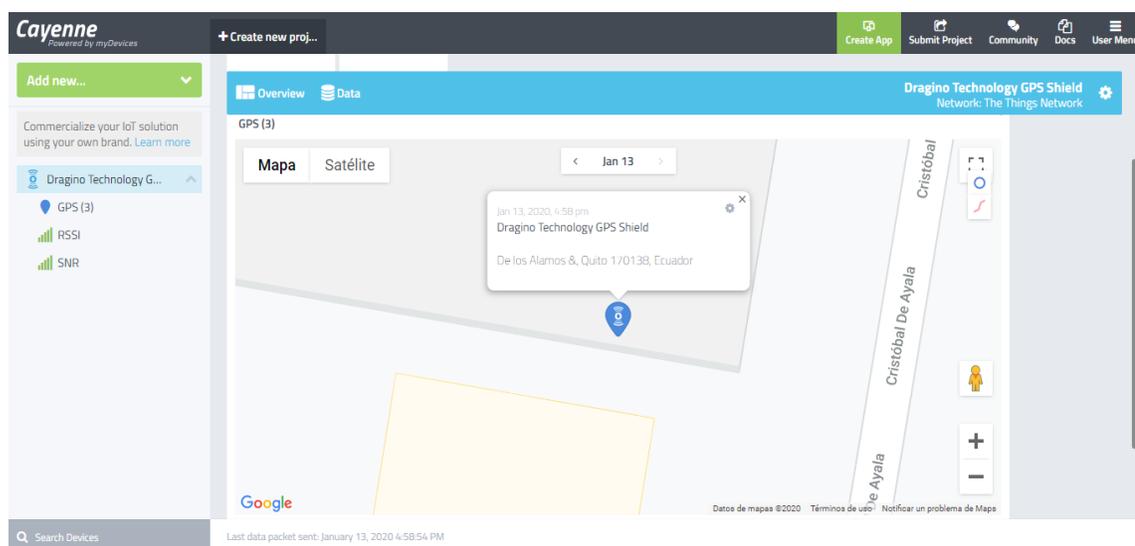


Figura 4.1 Ubicación del Gateway en mapa

```

17:02:05.250 -> The longitude and latitude and altitude are:
17:02:05.284 -> [-78.4706,-0.1429,2881.40]
17:02:05.284 -> 39878404: engineUpdate, opmode=0x908
17:02:05.387 -> 39886156: TXMODE, freq=915100000, len=24, SF=7, BW=125, CR=4/5, IH=0
17:02:05.422 -> Packet queued
17:02:06.395 -> 39950245: RXMODE_SINGLE, freq=915100000, SF=7, BW=500, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
17:02:06.949 -> 39983041: RXMODE_SINGLE, freq=915100000, SF=9, BW=125, CR=4/5, IH=0, rxsyms=255
17:02:07.982 -> 40047532: EV_TXCOMPLETE (includes waiting for RX windows)
17:02:08.016 -> 40048067: engineUpdate, opmode=0x900

```

Figura 4.2 Información de ubicación del Gateway

De acuerdo a lo detallado, a continuación, se presentan de manera específica la ubicación de los dispositivos.

- Lora Gateway (sector La Kennedy, Quito)
 - Latitud: -0,1429
 - Longitud: -78,4706
- Lora GPS
 - Realizara un recorrido en los alrededores de la ubicación al Gateway, de tal manera que se puedan obtener datos de ubicación, RSSI y SF

4.2 PRUEBAS DE CAMPO

Las pruebas de campo se la realizaron en el sector norte de la ciudad de Quito (La Kennedy), de tal manera que se pueda por un lado validar los datos de geolocalización, y por otro recibir información complementaria con respecto a la señal recibida y en base a ello enviar una comparativa principalmente del RSSI en cada punto de medición.

Las pruebas iniciaron a las 17:00 y culminaron aproximadamente a las 19:00 del lunes 13 de enero de 2020. En el Anexo 1, se presenta la tabla con la información de Latitud, Longitud, RSSI, SNR y distancia del sensor con respecto al Gateway. Esta información se fue capturando durante el periodo de pruebas.

4.2.1 FUNCIONAMIENTO DE LA INTERFAZ

El dispositivo LORA GPS envía la información de su ubicación hacia el Gateway LORA, el cual almacena esta información en forma de log en el Servidor TTN, Figura 4.3b, para posteriormente enviar esta información hacia una interfaz gráfica web. La interfaz utilizada para este proyecto es el aplicativo WEB Cayenne de TTN, a través del cual se pueden visualizar los parámetros de GPS, RSSI y SNR del dispositivo LORA GPS que está realizando el recorrido en el vehículo. A continuación, se presentan el detalle de la información que se obtiene a través de la interfaz.

- a) Interfaz gráfica a través de un mapa, en el cual se refleja el punto en el cual se encuentra el dispositivo LORA GPS y de esta manera poder dar seguimiento al movimiento vehicular, adicionalmente cada punto georeferenciado tiene la información de RSSI y SNR.

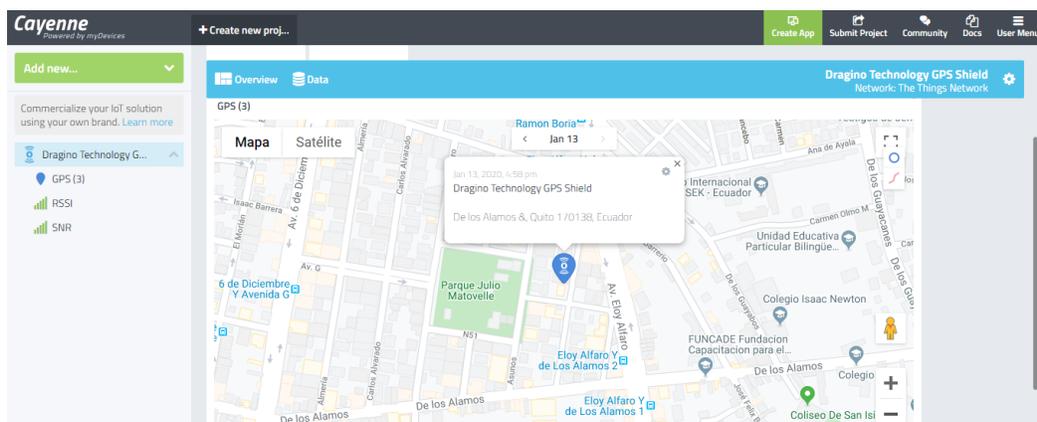


Figura 4.3 Interfaz web Cayenne (a)

b) La información envía del dispositivo LORA GPS en forma de logs al Gateway LORA y visualizados en el servidor TTN, como se muestra en la Figura 4.3b para posteriormente ser enviadas a la aplicación Cayenne para una visualización gráfica del dispositivo LORA GPS. En la Figura 4.3b se puede observar el log enviado por el dispositivo LORA GPS, el cual contiene la siguiente información:

- Hora de log.
- Contador de Evento.
- Puerto de comunicación con el Gateway LORA.
- ID del Gateway LORA.
- Payload.
- Altitud.
- Latitud.
- Longitud.

time	counter	port	dev id	payload	gps_3.altitude	gps_3.latitud
17:01:00	9	1	ach_gateway_lora	03 88 FF FA 6C F4 06 BF 04 65 8C	2881.4	gps_3.latitud
16:59:57	8	1	ach_gateway_lora	03 88 FF FA 6C F4 06 BF 04 65 8C	2881.4	gps_3.latitud
16:58:53	7	1	ach_gateway_lora	03 88 FF FA 6C F4 06 BF 04 65 8C	2881.4	gps_3.latitud
16:57:49	6	1	ach_gateway_lora	03 88 FF FA 6C F4 06 BF 04 65 8C	2881.4	gps_3.latitud
16:56:45	5	1	ach_gateway_lora	03 88 FF FA 6C F4 06 BF 04 65 8C	2881.4	gps_3.latitud
16:55:42	4	1	ach_gateway_lora	03 88 FF FA 6C F4 06 BF 04 65 8C	2881.4	gps_3.latitud
16:54:38	3	1	ach_gateway_lora	03 88 FF FA 6C F4 06 BF 04 65 8C	2881.4	gps_3.latitud
16:53:34	2	1	ach_gateway_lora	03 88 FF FA 6C F4 06 BF 04 65 8C	2881.4	gps_3.latitud
16:52:30	1	1	ach_gateway_lora	03 88 FF FA 6C F4 06 BF 04 65 8C	2881.4	gps_3.latitud

Figura 4.3 Interfaz web Servidor TTN (b)

4.2.2 MAPA DEL RECORRIDO

El recorrido realizado con el dispositivo LORA GPS se muestra en la figura 4.4, el cual fue realizado con la información obtenida a través del Gateway y almacenado en el servidor TTN, con la información recolectada se puede obtener la distancia estimada de cobertura del Gateway LORA ubicado en el sector de la Kennedy durante las pruebas que aproximadamente fue de 1 kilómetro.



Figura 4.4 Mapa del recorrido

Por sí solo, el aplicativo Cayenne no obtiene la distancia entre puntos geográficamente distantes, únicamente los muestra mientras se realiza el

recorrido. Por tanto, basado en la Fórmula de Haversine (1) se complementó la información de distancia considerando la siguiente información:

Tabla 4.1

Tabla de parámetros de inicio

Latitud	Longitud	Radio Tierra
-0,1428	-78,4705	6378,1

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{Lat_2 - Lat_1}{2} \right) + \cos(Lat_1) \cos(Lat_2) \sin^2 \left(\frac{Long_2 - Long_1}{2} \right)} \right) \quad (1)$$

De acuerdo a los cálculos realizados, con las latitudes y longitudes en cada punto respecto a la latitud y longitud del Gateway, se presenta la tabla 4.2.

En la tabla 4.2 se puede encontrar la información de Fecha, Hora, RSSI, SNR, Latitud, Longitud y Distancia del dispositivo LORA GPS durante su recorrido con respecto al Gateway LORA.

La distancia entre el dispositivo LORA GPS y el Gateway LORA se calculó con la Fórmula de Haversine.

Adicional, se puede observar la variación de RSSI, el cual es el indicador de fuerza de la señal recibida, según se va realizando el recorrido; el cual se va modificando respecto a la distancia de comunicación y a los obstáculos que se presentan en la línea de vista entre el dispositivo LORA GPS y Gateway LORA. De esta manera garantizar la comunicación confiable de la tecnología LORA.

Adicional, la variación del RSSI también permite mantener constante la relación señal/ruido (SNR).

Se puede concluir que la variación del RSSI puede cambiar por la distancia entre el dispositivo LORA GPS y el Gateway LORA, por los obstáculos en la línea de vista o para garantizar la relación señal/ruido (SNR).

Tabla 4.2

Tabla de análisis de resultados

Fecha	Hora	RSSI	SNR	Latitud	Longitud	Distancia
13/01/2020	7:07:05	-96	78000001907349	-0,1441	-78,4689	229,4892448
13/01/2020	7:04:58	-109	78000001907349	-0,1477	-78,4634	960,3124939
13/01/2020	7:04:58	-109	78000001907349	-0,1477	-78,4634	960,3124939
13/01/2020	7:01:47	-104	78000001907349	-0,1476	-78,4634	954,0335214
13/01/2020	7:01:47	-104	78000001907349	-0,1476	-78,4634	954,0335214
13/01/2020	6:59:39	-106	78000001907349	-0,1466	-78,4633	906,2726176
13/01/2020	6:59:39	-106	78000001907349	-0,1466	-78,4633	906,2726176
13/01/2020	6:58:35	-105	78000001907349	-0,1463	-78,4648	744,5873916
13/01/2020	6:58:35	-105	78000001907349	-0,1463	-78,4648	744,5873916
13/01/2020	6:57:32	-108	78000001907349	-0,1449	-78,4675	407,6450396
13/01/2020	6:57:32	-108	78000001907349	-0,1449	-78,4675	407,6450396
13/01/2020	6:55:24	-111	78000001907349	-0,1437	-78,4655	565,5374629
13/01/2020	6:55:24	-111	78000001907349	-0,1437	-78,4655	565,5374629
13/01/2020	6:47:58	-109	78000001907349	-0,1352	-78,4682	883,9162741
13/01/2020	6:47:58	-109	78000001907349	-0,1352	-78,4682	883,9162741
13/01/2020	6:43:43	-109	78000001907349	-0,1352	-78,4682	883,9162741
13/01/2020	6:43:43	-109	78000001907349	-0,1352	-78,4682	883,9162741
13/01/2020	6:24:35	-110	78000001907349	-0,1373	-78,4716	624,3785875
13/01/2020	6:24:35	-110	78000001907349	-0,1373	-78,4716	624,3785875
13/01/2020	6:22:27	-110	78000001907349	-0,1373	-78,4716	624,3785875
13/01/2020	6:22:27	-110	78000001907349	-0,1373	-78,4716	624,3785875
13/01/2020	6:20:20	-109	78000001907349	-0,1389	-78,4719	461,2683851
13/01/2020	6:20:20	-109	78000001907349	-0,1389	-78,4719	461,2683851
13/01/2020	6:18:13	-108	78000001907349	-0,14	-78,4723	370,5426347
13/01/2020	6:18:13	-108	78000001907349	-0,14	-78,4723	370,5426347

continua 

13/01/2020	6:15:01	-109	78000001907349	-0,1398	-78,4728	420,8083193
13/01/2020	6:15:01	-109	78000001907349	-0,1398	-78,4728	420,8083193
13/01/2020	6:00:09	-108	78000001907349	-0,1424	-78,4741	403,2127723
13/01/2020	6:00:09	-108	78000001907349	-0,1424	-78,4741	403,2127723
13/01/2020	5:58:01	-110	78000001907349	-0,1425	-78,4731	291,3484078
13/01/2020	5:58:01	-110	78000001907349	-0,1425	-78,4731	291,3484078
13/01/2020	5:56:58	-110	78000001907349	-0,1425	-78,4731	291,3484078
13/01/2020	5:56:58	-110	78000001907349	-0,1425	-78,4731	291,3484078
13/01/2020	5:55:54	-110	78000001907349	-0,1425	-78,4731	291,3484078
13/01/2020	5:53:46	-92	78000001907349	-0,1436	-78,4716	151,4096895
13/01/2020	5:52:42	-90	78000001907349	-0,1436	-78,4716	151,4096895
13/01/2020	5:51:39	-88	78000001907349	-0,1436	-78,4716	151,4096895
13/01/2020	5:47:05	-73	78000001907349	-0,143	-78,4707	31,48567511
13/01/2020	5:46:01	-71	78000001907349	-0,143	-78,4707	31,48567511
13/01/2020	5:44:57	-69	78000001907349	-0,143	-78,4707	31,48567511
13/01/2020	5:11:39	-80	78000001907349	-0,1429	-78,4707	24,89158857
13/01/2020	5:10:35	-79	78000001907349	-0,1429	-78,4706	15,74283757
13/01/2020	5:09:31	-81	78000001907349	-0,143	-78,4706	24,89163498
13/01/2020	5:08:27	-91	78000001907349	-0,1431	-78,4704	35,20209872
13/01/2020	5:07:24	-94	78000001907349	-0,1428	-78,4705	0

4.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados de las pruebas realizadas en el recorrido del dispositivo LORA GPS.

4.3.1 Relación Distancia vs RSSI

Basados en la tabla 4.2, se realiza una comparativa de cómo va variando el RSSI en el dispositivo LORA GPS, conforme se va alejando del Gateway. Por tanto, como debía esperarse mientras mayor distancia existe entre estos dos equipos el RSSI es menor, sin embargo, hay factores adicionales que permiten

el RSSI sea menor, como los obstáculos en la línea de vista y garantizar una relación señal/ruido adecuada.

En la figura 4.5, se puede observar el comportamiento del RSSI respecto a la distancia entre el dispositivo LORA GPS y el Gateway GPS.

Adicional, se observa en la figura 4.5 que aproximadamente pasado los 300 metros entre el dispositivo LORA GPS y el Gateway GPS, el valor RSSI se mantiene entre -100 y -110 dBm.

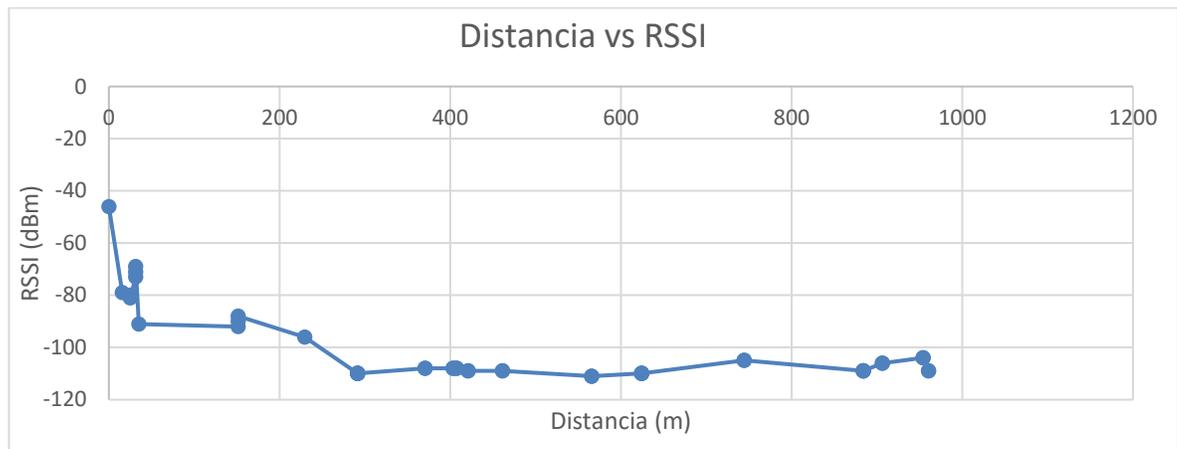


Figura 4.5 Distancia vs RSSI

Por tanto, de lo evidenciado podemos considerar que el RSSI garantiza la comunicación entre el dispositivo GPS y Gateway de la tecnología LORA, además de la confiabilidad de la información.

4.3.2 Relación Distancia vs SNR

La variación de RSSI, detallado 4.3.1, garantiza una adecuada relación señal/ruido. En estas pruebas se pudo evidenciar que la variación de RSSI, el cual variaba de acuerdo a la distancia o a los obstáculos de la línea de vista entre el dispositivo LORA GPS y el Gateway LORA, garantiza que la relación señal/ruido sea constante, como se mostró en la tabla 4.2 y como se puede ver en la Figura 4.6.

Adicional, el tener una relación señal/ruido (SNR) adecuado garantiza que el paquete no comience a fallar en la recepción.

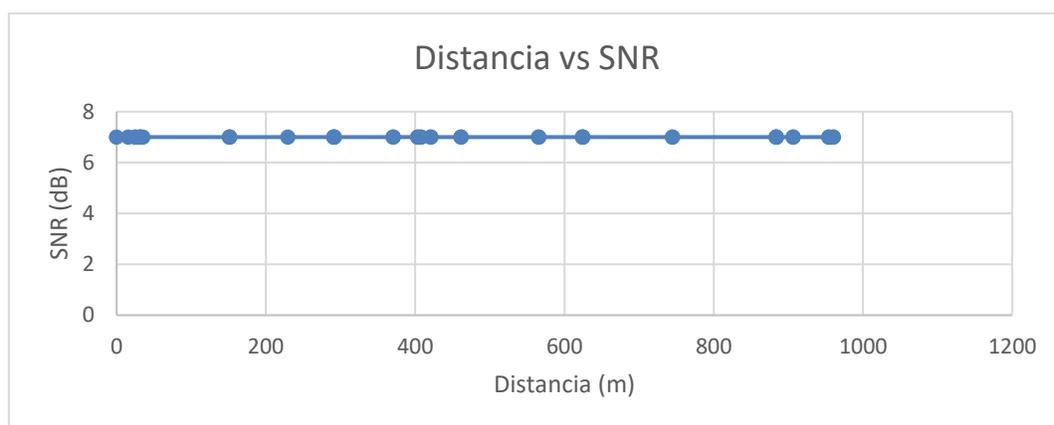


Figura 4.6 Distancia vs SNR

En el Anexo 2, se detalla mayor información de los trabajos futuros relacionados con esta investigación.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La comunicación efectiva y con una confiabilidad de la tecnología LORA se pudo evidenciar en las pruebas realizadas entre el dispositivo GPS y el Gateway a una distancia aproximada de 1 kilómetro.

Las mediciones realizadas de RSSI se observa una clara tendencia a disminuir logarítmicamente con el crecimiento de la distancia entre el dispositivo LORA GPS y el Gateway LORA.

La variación del RSSI se mantiene entre -100 y -110 dBm a partir de los 300 metros de distancia entre el dispositivo LORA GPS y el Gateway GPS.

El desarrollo IoT con tecnología LoRa, permitió implementar una red de comunicaciones para monitoreo vehicular con muchas ventajas como: bajo consumo de potencia con un alto rango de cobertura y transferencia de datos confiables. Lo cual abre la puerta que nuevas tecnologías sean implementadas en las ciudades de mayor desarrollo tecnológico como complemento a las redes inalámbricas convencionales.

Al implementar un Gateway LoRa y el dispositivo LORA GPS, se pudo identificar la cobertura de la red para garantizar la transferencia de la información entre los extremos. Aplicado el campo vehicular, optimizaría las soluciones actuales que actualmente presentan altos tiempos de recepción y pérdida de

datos en tramos de difícil acceso debido a la dependencia de cobertura de las redes inalámbricas tradicionales.

Los datos brindados por diferentes plataformas nos permiten tener varias alternativas de acceso a los datos mediante IoT y orientada al usuario.

La solución fue desarrollada en un ambiente gratuito, por tanto, el dinamismo en el acceso y manejo de la información es limitado, así como la actualización de los mismos.

La programación de los equipos LORA se desarrolló en base a ARDUINO, considerando los principales parámetros para la configuración de los mismos. Dichos parámetros garantizaron la cobertura y adicionalmente, precisión en la adquisición de datos.

De los resultados obtenidos podemos demostrar que la solución planteada al inicio de este trabajo de investigación garantiza un adecuado funcionamiento y principalmente, se ubica como una opción confiable al momento de buscar alternativas para monitoreo vehicular

Como toda tecnología inalámbrica es necesario realizar tareas de optimización de tal manera que a mayor distancia aún se garantice la cobertura necesaria. En el presente proyecto eso es logrado variando el RSSI.

RECOMENDACIONES

Implementar nuevas simulaciones prácticas, tanto virtuales como híbridas para ajustar y detectar mejoras a las redes LoRa. El trabajo puede continuarse

en el área del desarrollo de software por programadores para la creación de aplicaciones se comuniquen con una base de datos, y así realizar un tracking vehicular personalizado.

Desarrollar nuevas y mejores maneras de obtención de información local y enviar a través de la red LORA, para de esta manera ampliar el área de aplicación de este tipo de redes IoT.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Karen Rose, S. E. (2015). El internet de las cosas. *Internet Society* .
- [2] Gómez, G. (2016). *Manual pruebas de funcionamiento para monitoreo*. Mexico DF: Circulo Corp.
- [3] School, O. B. (s.f.). *OBS Business School*. Obtenido de <https://obsbusiness.school/int/noticias/estudio-obs/en-2020-mas-de-30-mil-millones-de-dispositivos-estaran-conectados-internet>
- [4] Ferdaous, C. (2019). *LoRaWAN for IOT/AI: Applications in support of Societal Challenges*. Tunis.
- [5] Adams, W. (2009). *IEEE IP over Broadband Access in Support of Convergence*. Geneva: IEEE.
- [6] Sabas, A. (2019). *SG*. Obtenido de SG: <https://sq.com.mx/revista/56/tecnologias-inalambricas-iot>
- [7] McDermott-Wells, P. (2005). What is Bluetooth? *IEEE Potentials*.
- [8] Org, W. (2018). *WiFi Alliance*.
- [9] Alliance, L. (2015). LoRaWAN ¿What is it? *Technical Marketing Workgroup*.
- [10] Knight, M. (s.f.). Decoding LoRa: Realizing a Modern LPWAN with SDR. *Bastille*.
- [11] Vangelista, L. (2015). Long-Range IoT Technologies: The Dawn of LoRa. *1st EAI International Conference on Future access enablers of ubiquitous and intelligent infrastructures*. Ohrid.
- [12] Casals, L. (2017). Modeling the Energy Performance of LoRaWAN. *Sensors*.
- [13] Buestan, J. C. (2018). Desarrollo de una red IoT con tecnología LoRa para detección de automóviles. Cuenca: UPS.
- [14] Jerrin George James, S. N. (2017). Efficient, Real-time Tracking of Public Transport, Using LoRaWAN and RF Transceivers. *IEEE Region 10 Conference*.

- [15] Pengxin Guan, L. W. (2018). A Real-Time Bus Positioning System Based on LoRa Technology. 2nd International Conference on Smart Grid and Smart Cities.
- [16] Norhafizah Ramli, M. M. (2019). An open source LoRa based vehicle tracking system. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics.
- [17] Sandra Sendra, P. R.-D.-N. (2019). LoRa-Based System for Tracking Runners in Cross Country Races. Proceedings.
- [18] ndf. (s.f.). AlphaIoT. Obtenido de <https://alfaiot.com/blog/ultimas-noticias-2/post/loraserver-chirpstack-vs-the-things-network-ttn-14>
- [19] Dragino. (2019). Single Channel LoRa IoT Kit v2 User Manual.
- [20] Wikipedia. (s.f.). https://es.wikipedia.org/wiki/F%C3%B3rmula_del_semiverseno
- [21] GNCOM, (s.f.). <http://www.gmcom.com/cabelado-estructurado.html>
- [22] MilNova. (s.f.). An Approach to the IoT Solution based on Model-Driven Engineering for the Military Health Monitoring.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ASK	Application Session Key
BW	BandWidth
CR	Code Rate
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSS	Chirp
FEC	Forwarding Error Correction
FHDR	Frame Header
IOT	Internet Of Things
LE	Low Energy
LORA	Long Range
LPWAN	Low Power Wide Area Network
LR-WPAN	Low-Rate Wireless Personal Area Network
MHDR	MAC Header
MIC	Message Integrity Code
NSK	Network Session Key
PHDR	Physical Header
PHDR_CRC	Physical Header Cyclic Redundancy Check
PHY	Physical
SF	Spreading Factor
SOS	Star of Stars
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

WSN	Wireless Sensor Networks
WWAN	Wireless Wide Area Network
SOS	Star of Stars
WLAN	Wireless Local Area Network